COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG
DIRETORIA DE DISTRIBUIÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO – DDC
SUPERINTENDÊNCIA DE RELACIONAMENTO COMERCIAL – RC
GERÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA – RC/UE
FAZENDA ENERGÉTICA DE UBERABA – FE-UE

Uso de Fontes Alternativas de Energia no Meio Rural

Antônio Carlos Coutinho
Eng. Agrônomo – CEMIG
Dezembro/2002

APRESENTAÇÃO

A Fazenda Energética constantemente é demandada no tocante a prestar informações; colaborar com material técnico-científico e equipamentos para instalação de Feiras Científicas Escolares (1º e 2º grau) e realizações de palestras no segmento Fontes Alternativas de Energia no Meio Rural.

Com a finalidade de reunir num único material, informações sobre as diversas Fontes Alternativas de Energia passíveis de uso no Meio Rural, foi que produzimos esse trabalho, o qual atenderá as necessidades dos nossos clientes.

Ao planejarmos a utilização de equipamentos a fontes alternativas numa propriedade rural nunca devemos nos esquecer de fazer os seguintes questionamentos:

1. A propriedade é suprida em quantidade suficiente da fonte energética que irá acionar o equipamento projetado?
2. Apenas uma determinada fonte energética alternativa ira atender as demandas da propriedade em energia?
3. A fonte energética alternativa pretendida é economicamente viável?
4. As técnicas de instalação, operação e manutenção do(s) equipamento(s) a fontes alternativas de energia são de conhecimento das pessoas que irão operá-lo(s)?

Antônio Carlos Coutinho
Engº. Agrº - CEMIG

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO. 04
2. ELETRIFICAÇÃO RURAL X DESENVOLVIMENTO. 05
3. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO MEIO RURAL. 06
4. ENERGIA E SUAS DIFERENTES FONTES 07
5. ENERGIA HIDRÁULICA 09
5.1. Determinação de quantidade de Água Necessária p/ as Atividades da Propriedade 09
5.2. Determinação da Vazão do Manancial que irá Abastecer a Propriedade e alimentar o Equipamento Movido a Força Hidráulica 09
5.3. Determinação da Distância do Manancial ao Reservatório 15
5.4. Equipamentos a Energia Hidráulica 16
6. ENERGIA EÓLICA 28
6.1. Classificação 28
6.2. Princípio de Funcionamento 30
6.3. Potencial Energético Eólico 32
6.4. Custo da Energia Eólica 34
6.5. Avaliação de Desempenho de um Catavento p/ Bombeamento D'Água 35
6.6. Usina Eólio-Elétrico CEMIG 37
6.7. Comentários Gerais sobre Energia Eólica 39
6.8. Instalação e Funcionamento de Cataventos 40
7. ENERGIA SOLAR 44
7.1. O Coletor Plano de Energia Solar 47
7.2. Células Fotovoltaicas 57
8. ENERGIA DA BIOMASSA 75
8.1. Biodigestão 75
8.2. Gaseificação 81
8.3. Locomóvel 83
9. AVALIAÇÃO DE EQUIPAMENTOS A FONTES ALTERNATIVAS 85
10. ESTUDO DE CASO 86
11. MEDIÇÕES EFETUADAS 87
12. TABELA DE TARIFAS E PREÇOS 88
13. ENDEREÇOS 91
14. LITERATURA CONSULTADA 93

1. INTRODUÇÃO

As atividades rurais de uma maneira geral, necessitam de energia para satisfazer as seguintes necessidades básicas e de produção:

- Aquecimento;
- Refrigeração;
- Iluminação;
- Comunicação;
- Força.

Essa energia é empregada nos mais diferentes usos como:

- Aquecimento de água para residências e estábulos;
- Secagem de grãos e outros produtos;
- Refrigeração de leite e seus derivados, carnes, hortaliças, frutas, água etc;
- Iluminação de residências, estábulos, galpões, depósitos e silos graneleiros;
- Fonte de alimentação para eletrificadores de cercas;
- Fonte de alimentação de rádios de comunicação e telefonia;
- Bombeamento de água para as diversas atividades (residencial e produtiva, inclusive a irrigação);
- Acionamento de máquinas como: picadeiras, debulhadores, desintegradores, misturadores de rações, ordenhadeiras mecânicas, tanques de expansão e etc.

Como se vê, é quase impossível pensar nos dias atuais uma propriedade rural sem energia, seja para atividades básicas, de lazer, conforto ou de produção.

2. ELETRIFICAÇÃO RURAL X DESENVOLVIMENTO

O Estado de Minas Gerais possui em torno de 550 mil propriedades rurais. Na área de concessão da CEMIG, responsável pelo atendimento a 774 municípios dos 853 municípios existentes, 331 mil propriedades rurais encontravam-se eletrificadas até o mês de agosto de 2002.

Os consumidores rurais atendidos pela CEMIG representam 6,0% do universo de consumidores, que somam 5,5 milhões.

A eletrificação rural é um dos fatores responsáveis pelo aumento da produção, renda e melhoria das condições de vida do produtor rural.

Quando da implantação do Programa de Eletrificação Rural denominado **CEMIG RURAL**, iniciado em 1984 tinha-se como meta eletrificar 60 mil propriedades rurais no Estado, passando de 60 mil para 120 mil em 4 anos.

Paralelamente à eletrificação dessas propriedades, foram sendo feitas avaliações sobre a influência da energia elétrica no aumento da produção, renda e melhoria das condições de vida da população rural.

As propriedades rurais que foram eletrificadas no período de 1984 a 1988 e avaliadas apresentaram os seguintes desempenhos:

- Aumento da receita liquida agropecuária em 100%;
- Aumento da produção de feijão em 270%;
- Aumento da produção de leite em 15%.

No campo das mudanças de hábitos de consumo, qualidade de vida e hábitos de costume, para cada propriedade rural eletrificada foi constatado:

- Aquisição de 0,8 geladeiras;
- Aquisição de 0,6 chuveiros;
- Aquisição de 0,8 televisores.

Uma pesquisa recente divulgada pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA), o uso da Internet no meio rural no Estado de São Paulo registrou forte aumento.

O número de propriedades rurais com acesso à rede subiu de 10.860 para 18.636 no período de novembro de 2000 a junho de 2001, o que corresponde a um aumento de 82%.

O estudo revela ainda que do total de proprietários rurais que declararam ter o acesso a Internet, 74% utilizam a rede para leitura de noticias sobre o segmento agropecuário.

Cerca de 71% acessam a Web para consulta de dados sobre o mercado agropecuário, como cotações e analise de mercado, 48% para obtenção de informações sobre extensão rural e auxilio técnico e 28% para comércio eletrônico.

Portanto, é a eletrificação rural participando como um dos fatores promotores de desenvolvimento econômico e social no campo.

Atualmente a CEMIG tem construído 268 mil Km de Rede de Distribuição Rural, para atender as 331 mil propriedades rurais eletrificadas.

3. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO MEIO RURAL

Em 2.001 a atividade rural consumiu 1.572 GWh o que representou 4,6% de toda a energia elétrica vendida pela CEMIG, que foi na ordem de 34.541 GWh.

O consumo médio mensal em 2.001 foi de 406 kWh.

Até agosto de 2.002 a atividade rural consumiu 1.049 GWh, o que representou 4,5% de toda a energia elétrica vendida pela CEMIG nos primeiros 8 meses do ano, que foi na ordem de 23.074 GWh.

O consumo médio mensal rural até agosto de 2.002 foi de 396 kWh.

A irrigação é a atividade da agricultura que mais consome energia elétrica.

Para se comprovar essa nossa afirmativa, em 1998 os irrigantes com pivô central representavam 0,3% do universo de consumidores rurais atendidos pela CEMIG e consumiram 17,3% de toda energia elétrica gasta diretamente na agricultura.

Para se ter uma idéia, o consumo médio mensal do irrigante com pivô central foi na ordem de 26.899 kWh comparando com 471 kWh que foram consumidos em média por mês pelo universo de consumidores rurais.

No ano de 2.001 os olericultores do município de Carandaí que representaram 11,8% do total de consumidores rurais atendidos pela CEMIG naquele município, consumiram 48,3% de toda a energia elétrica gasta diretamente na agricultura. Foi um consumo médio mensal de 2.378 kWh contra 457 kWh.

A energia elétrica no meio rural ainda é utilizada de maneira não racional por uma grande parcela dos consumidores.

Na atividade da irrigação, em dois Estudos de Otimização Energética Setorial realizada pela CEMIG em parceria com a Universidade Federal de Viçosa foi levantado um potencial de economia de energia de:

- Irrigação com pivô central: 28%
- Irrigação via aspersão convencional: 23%.

Os consumos excessivos de energia elétrica numa atividade devem-se principalmente a dois fatores:

- Não adoção da prática do manejo da irrigação;
- Equipamentos de irrigação superdimensionados.

De uma maneira geral as instalações elétricas de baixa tensão numa propriedade rural apresentam uma série de irregularidade que contribuem para um consumo excessivo de energia, mau desempenho dos equipamentos eletrorrurais, queima de motores e acidentes elétricos que entre eles estão:

- Condutores mal dimensionados;
- Emendas e conexões mal feitas;
- Inexistência de pára-raios de rede;
- Inexistência e/ou mau dimensionamento de dispositivos de proteção para motores elétricos;
- Inexistência de sistema de aterramento para as carcaças dos motores elétricos.

4. ENERGIA E SUAS DIFERENTES FONTES

- **ENERGIA**

É a capacidade de realizar trabalho.

- **FONTES CONVENCIONAIS DE ENERGIA**

São todas aquelas cujas tecnologias de conversão de uma forma de energia em outra estão desenvolvidas, e cujos custos são considerados economicamente aceitáveis, sendo utilizados na produção de energia para o consumo nas diversas atividades.

- **FONTES NÃO CONVENCIONAIS DE ENERGIA**

São todas aquelas cujas tecnologias podem estar ou não completamente desenvolvidas, e que apresentam problemas de aceitação por razões quase sempre econômicas.

- **FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA**

Quando podem ser reabastecidas, ou se desenvolvam, ou simplesmente existirem dentro de um intervalo de tempo significativo para as pessoas. Por exemplo: a comida, a madeira, a água e a radiação solar.

- **FONTES NÃO RENOVÁVEIS DE ENERGIA**

Quando sua formação for tão lenta ou sua existência tão curta a ponto de se tornar esgotável num intervalo de tempo comparável a existência humana. Por exemplo: o carvão mineral, o petróleo e os combustíveis nucleares.

- **FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA**

É toda energia advinda de fontes renováveis.

As Fontes Alternativas de Energia são:

- Hidráulica – água;
- Eólica – vento;
- Solar – sol;
- Biomassa – dejetos de animais, restos de culturas e florestas (lenha, cepilho de madeira, carvão e alcatrão).

Equipamentos a fontes alternativas de energia:

- Hidráulica – roda d'água e carneiro hidráulico;
- Eólica – catavento (bombeamento d'água e gerador);
- Solar – coletor solar e painel fotovoltaico;
- Biomassa – biodigestor, gasogênio e locomóvel.

Quadro 01 – Distribuição de equipamentos a fontes alternativas de energia por tipo de região do Brasil

REGIÃO DO PAÍS	ENERGIA EÓLICA		ENERGIA SOLAR					ENERGIA HIDRAULICA			ENERGIA BIOMASSA	
	Catavento Gerador	Catavento Bombeamento	Secador de Grãos	Secador De Frutas	Casa de Vegetação	Coletor Solar p/ Aquecimento	Painel Fotovoltaico	Roda d'água	Carneiro Hidráulico	MCH	Biodigestor	Gasogenico
N	5	29	39	9	25	1	235	221	128	27	188	18
NE	80	4.686	257	12	-	8	8	108	186	22	1.074	38
SE (*)	3	154	8	2	1	34	8	1.559	384	1.174	317	-
S	2	246	242	-	73	11	-	299	172	90	1.572	-
CO	3	63	-	6	-	3	-	624	359	56	157	1
TOTAL	93	5.178	54	29	99	57	251	2.811	1.229	1.369	3.308	57
% H	0,62	34,42	3,73	0,19	0,66	0,38	1,67	18,69	8,17	9,10	21,99	0,38

Fonte: EMBRATER – Dezembro/1987 - (*) não incluso o estado de São Paulo. MCH – Micro Central Hidroelétrica.

Energia Hidráulica

5. ENERGIA HIDRÁULICA

Uma fonte tradicional de energia é a água, tanto a proveniente de rios, ribeirões, córregos e lagos.

A potencialidade da água para fins de irrigação, fazendo uso de desníveis naturais já era conhecida pelos povos primitivos .

Para o dimensionamento de equipamentos movidos à força hidráulica são necessárias as seguintes determinações:

5.1. Determinação de Quantidade de Água Necessária para as Atividades da Propriedade (Domésticas e Produtivas)

Para estimar o consumo diário de água usar a tabela 01.

Tabela 01 – Consumo aproximado de água no meio rural.

Especificação	Litros por dia
Sede da fazenda – por pessoa	100 a 150
Aves – 10 cabeças	2 a 3
Caprinos – por cabeça	4 a 5
Suínos por cabeça	5 a 8
Bovinos – por cabeça	30 a 65
Eqüinos – por cabeça	35 a 50
Suínos + higiene – por cabeça	12 a 15
Hortas e jardins por m²	4 a 8

Para saber como aplicar esta tabela, veja o exemplo a seguir:

Suponhamos que na fazenda residam 10 pessoas e que você possua 500 vacas leiteiras, 10 cavalos, 100 porcos, 100 frangos e 100m² de horta. Para essa situação, o consumo diário é calculado da seguinte forma:

Pessoas	10 x 100	1.000
Vacas leiteiras	500 x 65	32.500
Cavalos	10 x 50	500
Porcos	100 x 15	1.500
Frangos	100 x 0,3	30
Horta (m²)	100 x 5	500
O consumo diário é de 36.030 litros.		

5.2. Determinação da Vazão do Manancial que irá Abastecer a Propriedade e Alimentar o Equipamento Movido a Força Hidráulica.

Poderá ser utilizados os seguintes métodos:

5.2.1. Método do flutuador

É utilizado para cursos d'água maiores.

- Material básico para as medições: barbante ou similar, metro (do tipo usado por pedreiro) ou similar, estacas de madeira, ripa ou bambu de tamanho compatível, flutuador e relógio com ponteiro de segundo ou cronômetro.
- Deve ser escolhido um trecho relativamente reto e plano do leito do manancial (riacho, córrego, etc), onde não exista turbulência.

- Com um barbante, fita ou corda, atravessa-se o leito do manancial, escolhido, fixando-o através de estacas nas margens. Da mesma forma, prende-se outra referencia a uma distância que vai depender do trecho reto do manancial. **Ver figura 01a.**

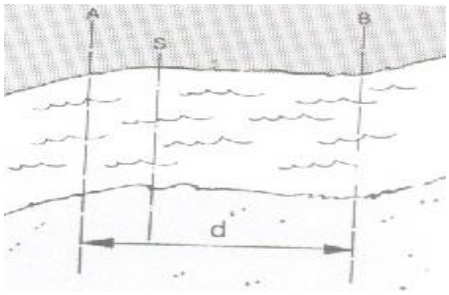


Figura 01a

- .Num ponto qualquer (seção transversal **S**), situado entre as duas referências A e B (fitas, cordas, etc) da figura **01a**, medem-se, com uma ripa, as diversas profundidades encontradas entre espaçamentos iguais, transversalmente ao leito do riacho. **Ver figura 01b**.

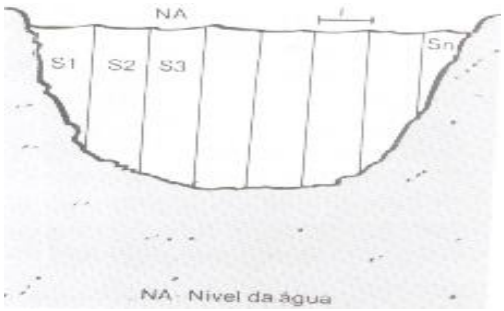
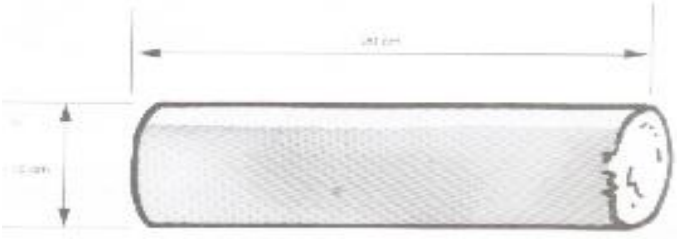


Figura 01b

- Terminada esta operação e anotadas as profundidades e espaçamentos, é possível calcular a área da seção transversal **(S)** do riacho, que resulta da soma das diversas áreas determinadas (S2, S3, ...,) são calculadas pela fórmula da área do trapézio, e S1 e Sn pela fórmula do triângulo retângulo). Veja exemplo a seguir.
- Um pouco acima da referência demarcada pelo barbante (referência **A** da **figura 01a**), solta-se o flutuador, marcando-se o tempo gasto para que ele vá de uma referência à outra (**A** e **B** da **figura 01a**). Este procedimento deve ser repetido de 5 a 10 vezes. Veja na **figura 01c** detalhe do flutuador de madeira.

Figura 01c – Flutuador de Madeira



- Feitas as medições de tempo, em segundos, tira-se a média, determinando-se o tempo médio para que o flutuador percorra a distância **"d" da figura 01a.**
- Calcula-se a velocidade média, usando-se a seguinte fórmula:
  - velocidade (m/seg) = 0,85 x distância (m) : tempo (seg)

  (**0,85** é um fator de correção que permite calcular a velocidade média da água na seção).
  - Multiplica-se, então a velocidade média encontrada pela área da seção transversal **(S)** da **figura (01b)**, obtendo-se a vazão procurada.

  Vazão (m^3/seg) = velocidade (m/seg) x área da seção s(m^2).

OBS: Como flutuador pode ser usada também uma garrafa, com ¼ de água ou areia, tomando o cuidado para que ela fique em pé.

Para maior precisão, as medidas deverão ser realizadas nas épocas de maior e menor quantidade de água (períodos de chuvas e estação seca), a fim de determinar os limites operacionais do manancial. Exemplo de cálculo das vazões: Suponhamos que você tenha feito as seguintes medidas num córrego (medições de profundidade). Foram feitas 5 medições com espaçamento de 0,1m entre as mesmas. Os valores obtidos são os seguintes: 0,15m, 0,20m, 0,30m, 0,25m e 0,17m. Veja detalhadamente na **figura 01d.**

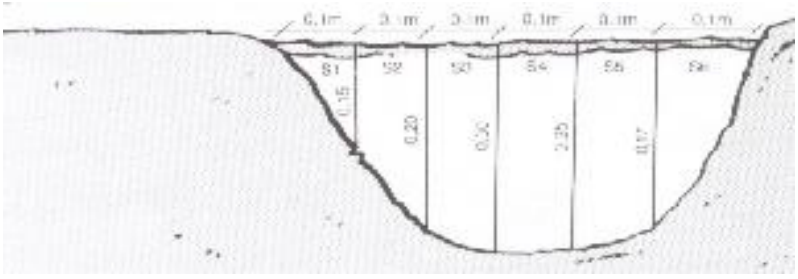


Figura 01d

À distância entre as referências é de 3 metros. Veja o detalhamento na **figura 01e.**

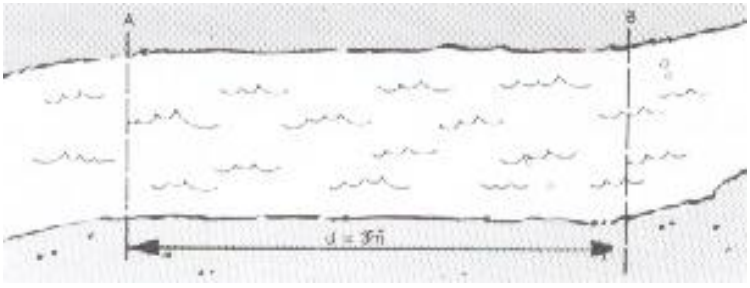


Figura 01e

Tempos medidos para que o flutuador percorra 3 metros. Foram feitas 5 medições, obtendo-se: 4 seg, 5 seg, 5 seg, 6 seg, 5 seg.

Resolução:

A) Área total.

Conforme você pode observar na **figura 1b**, as áreas junto às margens se aproximam de um triângulo. As restantes se aproximam de um trapézio.

Cálculo da área do triângulo:

Área = base x altura : 2

Cálculo da área do trapézio:

Área = (base maior + base menor) x altura : 2

Portanto:

S1 = 0,15 x 0,10 : 2 = 0,0075m²

S2 = (0,20 + 0,15) : 2 x 0,10 = 0,0175m²

S3 = (0,30 + 0,20) : 2 x 0,10 = 0,0250m²

S4 = (0,30 + 0,25) : 2 x 0,10 = 0,0275m²

S5 = (0,25 + 0,17) : 2 x 0,10 = 0,210m²

S6 = 0,17 x 0,10 : 2 = 0,0085m²

A área total será a soma das áreas S1 a S6.

S = 0,0075 + 0,0175 + 0,0250 + 0,0275 + 0,0210 + 0,0085m² = 0,107m²

B) Velocidade média da corrente.

Calcula-se o tempo médio de deslocamento do flutuador.

t(médio) = 4 + 5 + 5 + 6 + 5 : 5 = 5 seg.

A velocidade da corrente será:

V = 0,85 d/t = 0,85 3m/5seg = 0,51m/seg.

C) Vazão média

Basta multiplicar a área da seção pela velocidade.

Q(m³/seg) = 0,107m² x 0,51m/seg = 0,055m³/seg

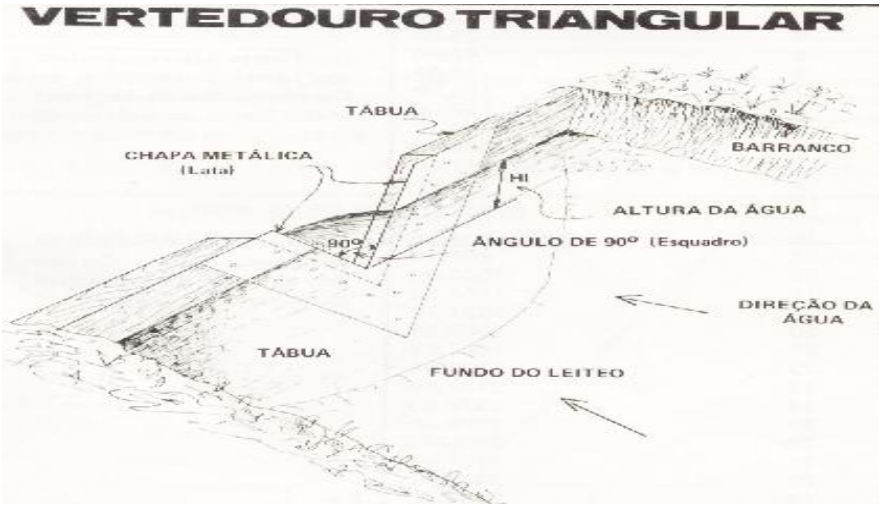
Se você desejar a vazão em litros/segundo, basta multiplicar este valor por 1.000.

0,055 x 1.000 = 55 litros/segundo.

5.2.2- Método do vertedouro triangular

É utilizado para pequenos cursos d'água e dá resultados bastante exatos.

Figura 02 – Mostra um Vertedouro Triangular muito fácil de construir



Numa tábua, faz-se um rasgo com 90° de canto, ou seja, no esquadro. De um lado da tábua, prega-se uma chapa metálica de pequena espessura, podendo ser usadas chapas de lata de querosene. Instala-se o vertedouro, de modo que a chapa fique em contato direto com a água e do lado do jato fique a madeira. Com certo cuidado, mede-se a altura líquida **"HI"** que a água forma ao passar pelo vertedouro. Sabendo o valor de **"HI"** (em centímetros), basta consultar a **Tabela 02**, para saber a vazão em litros por minuto.

Altura em "HI" em cm	Litros por minuto = Q
1	0,84
2	4,75
3	13,09
4	26,88
5	46,96
6	74,07
7	108,90
8	152,06
9	204,12
10	265,63
11	337,10
12	419,02
13	511,84
14	616,03
15	731,99
16	860,16
17	1000,93
18	1154,68
19	1321,79
20	1502,64
21	1697,57
22	1906,94
23	2131,08
24	2370,32
25	2625,00
26	2895,43
27	3181,92
28	3484,77
29	3804,30
30	4140,78

Observações: A vazão deverá ser média na época seca do ano, para garantir o abastecimento do Carneiro Hidráulico do ano todo.

5.2.3- Método Alternativo

É utilizado para pequenos cursos d'água.

Equipamentos necessários para medição: relógio com ponteiro de segundos ou cronômetro e vasilhame com volume de 20 a 50 litros.

Procure no leito do manancial um local onde seja possível colher toda a água através de vasilhame.

Para ter vazão, divida o volume do vasilhame pelo tempo gasto para enchê-lo.

Exemplo: um córrego capaz de encher um vasilhame de 50 litros em 10 segundos teria uma vazão de:

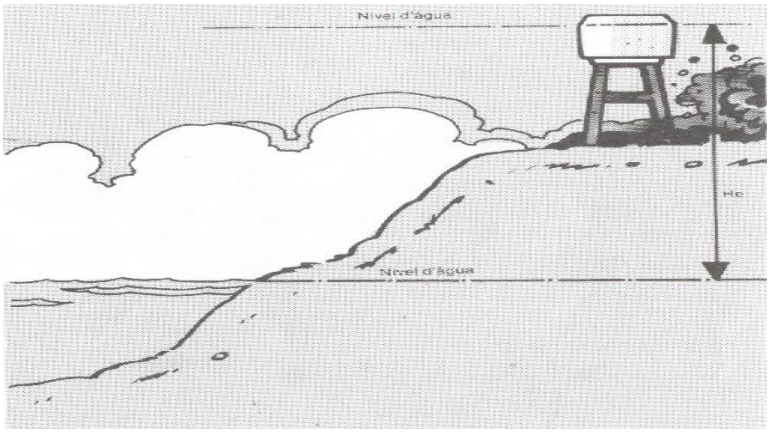
Q = 50 : 10 = 5 litros/segundo.

5.2.3.1. Determinação da altura de elevação

Para determinar a altura de elevação a partir de cisternas, basta medir a distância entre o nível da água, dentro da cisterna, e o nível superior da água no reservatório.

No caso de águas provenientes de córregos e similares, existe um método prático de obtenção da altura de elevação.

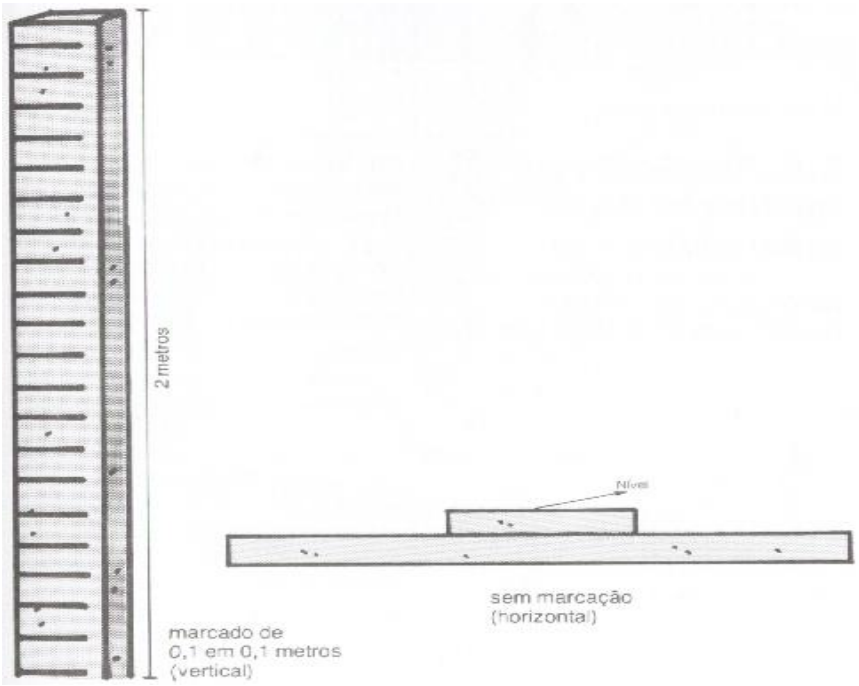
Figura 03 - He é a altura de elevação.



Material necessário:

- duas réguas de 2 metros, sendo uma marcada de 10 em 10cm e a outra sem marcação;
- um nível de pedreiro, que deverá ser fixado na régua sem marcação.

Veja detalhe na **figura 4**.

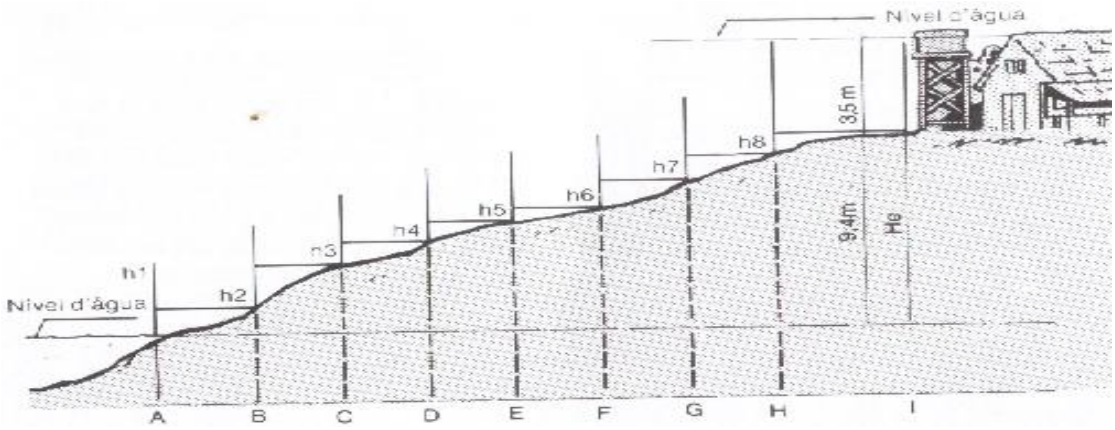


Procedimento: O método é constituído por diversas medidas, e as réguas devem ser usadas da seguinte forma:

- a régua com marcação é colocada na vertical e a outra na horizontal. As medidas de altura são feitas a partir do manancial através da régua marcada, até o reservatório. Com a régua horizontal determina-se o ponto seguinte de colocação da régua vertical, marcada para a medida seguinte.

Exemplo: suponhamos que em sua fazenda exista um curso d'água que passe abaixo da sede, como está detalhado na **figura 5**. Usando-se as duas réguas, conforme anteriormente explicado, obtêm-se as alturas de **h1** a **h8** para o trecho compreendido entre **A** e **I.**

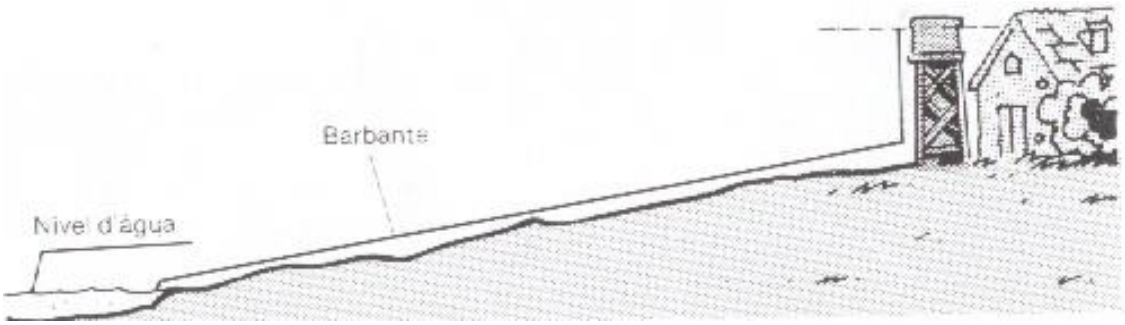
Figura 05



5.3- Determinação da Distância do Manancial ao Reservatório

Para determinar a distância do manancial ao reservatório, você deve esticar um barbante desde a margem do córrego até o reservatório, conforme mostra a **figura 6.**

Figura 06



Então você mede o comprimento deste barbante para obter, aproximadamente, o comprimento da tubulação.

Para facilitar o levantamento, você pode ir tabelando os valores das alturas à medida que forem sendo obtidos, conforme mostra a tabela abaixo.

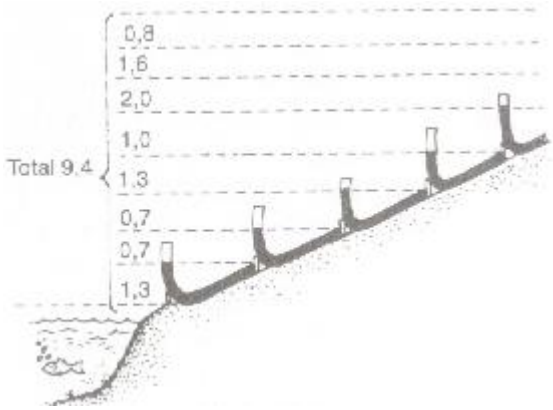
A altura de elevação é a soma de **h1 + h2 +** .....**h8**, mais a altura do reservatório.

Trecho	h	Metros
AB	1	1,3
BC	2	0,7
CD	3	0,7
DE	4	1,3
EF	5	1,0
FG	6	2,0
GH	7	1,6
HI	8	0,8
TOTAL	**-**	**9,4**

He = (altura de elevação) = 9,4 + 3,5 = 12,9 metros.

Existe também outra maneira muito prática para se calcular o desnível de um terreno. É o método da mangueira transparente cheia d'água e uma régua graduada. Para medir o desnível do terreno inicia-se pelo ponto mais alto e vai se deslocando até o ponto de captação, fazendo medições de desnível, trecho por trecho do terreno, usando a mangueira e a régua graduada, conforme (**fig. 07)**.

Figura 07 – Determinação de Altura de Elevação pelo Método da Mangueira Transparente



O desnível total do terreno é encontrado pela soma dos resultados das medições com a mangueira em cada trecho, incluindo a altura da caixa d'água que será abastecida.

5.4. Equipamentos a Energia Hidráulica

5.4.1- Roda d'água

A roda d'água horizontal (com potência de cerca de 0,3Kw), surgiu aproximadamente no século I.

Por volta do século IV, a roda d'água vertical conseguiu aumentar a potência até cerca de 2Kw. As rodas d'água eram usadas, principalmente para moer cereal. Por volta do século XVI a roda d'água era a máquina mais importante e desempenhou um papel fundamental na industrialização da Europa. No século XVII, a potência das rodas d'água já atingiram níveis bastante elevados. O complexo Marly-la-Machine, em Versalhes, possuía um sistema que produzia uma potência de 56Kw.

A partir das rodas d'água, essencialmente máquinas de conversão de energia hidráulica em energia mecânica, foram desenvolvidas posteriormente as usinas hidroelétricas. Um terço (33%) da energia elétrica do mundo é produzida por meios hidroelétricos. No Brasil, mais de 90% da energia gerada é através de usinas hidroelétricas.

A maneira mais comum de converter energia hidráulica em energia mecânica é através da roda d'água. A água, ao incidir sobre as pás de uma roda, exerce uma força que a move. O eixo da roda é ligado a um conjunto de engrenagens que move algum tipo de mecanismo como a moenda de cereais, tecelagem, secagem, carga e etc.

O sistema de engrenagens serve para modificar a potência transmitida ou a velocidade do mecanismo final.

5.4.1.1- Sistemas de acionamento da roda d'água

Existem 3 sistemas principais de acionamento da roda d'água:

- 1° - Água impulsora caindo sobre a roda;
- 2° - Água impulsora passando sob a roda de pás planas, em canaleta;
- 3° - Bomba sobre flutuadores.

1° Caso – Água impulsora caindo sobre a roda.

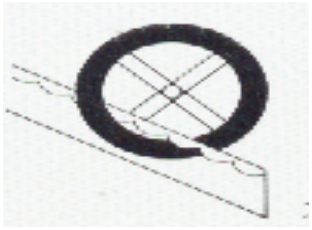
Nesse caso, a água é levada até a roda através de um tubo P.V.C rígido ou algo afim. A bica ou calha deve ter dimensão e inclinação adequadas para que a água caia suavemente sobre a roda, atingindo as primeiras canecas situadas logo adiante do topo da roda.

ÁGUA CAI SOBRE A RODA.

2° Caso – Água impulsora passando sob roda de pás planas, em canaleta.

É usado quando a queda do terreno for insuficiente para acionar a roda por cima. Nesse caso, a roda é instalada dentro de uma canaleta de alvenaria ou madeira com ligeira folga entre os lados e o fundo desta. A canaleta deve ser construída de maneira a aproveitar o máximo o desnível do terreno.

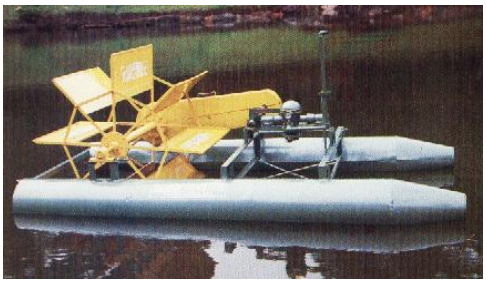
ÁGUA IMPULSORA PASSA SOB A RODA DE PÁS PLANAS.



3° Caso - Bomba sobre flutuadores.

Trata-se de um conjunto flutuante projetado especialmente para ser usado em correnteza de rio ou ribeirão. É usado quando o terreno não dispõe de queda para acionamento normal e nem desnível.

BOMBA SOBRE FLUTUADORES



5.4.1.2- Benefícios e Vantagens da Roda d'água

a) Custo de manutenção próximo a zero pois não utiliza eletricidade nem combustível;
b) Ótima relação custo/benefício com rápida amortização do investimento inicial;
c) Funcionamento contínuo (24 horas), com garantia de 02 (dois) anos;
d) Baixo nível de desgaste por trabalhar em regime lento, reduzindo o atrito;
e) Sistema de lubrificação automática por meio de bomba de óleo;
f) Não causa impacto ambiental. Totalmente integrada à natureza.

5.4.1.3- Condições para Instalação

a) Necessita-se de água para acionar a roda;

b) Desnível local suficiente para que a água possa ser conduzida até o topo da roda.

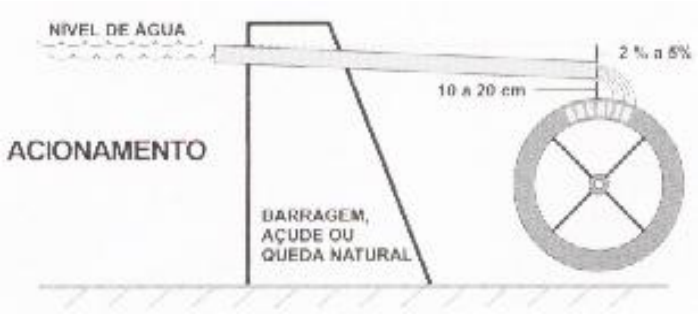


Tabela 03: Modelos disponíveis e suas características

Série	Modelo	Diâmetro do Bocal de Entrada e Saída	Desnível Máximo (metros)	Vazão Bombeada (litros por dia)*		
				(20 RPM)	(30 RPM)	(40 RPM)
M	MS-32 (curso 3)	¾”	250	1.350	2.000	2.700
	MS-32 (curso 6)	¾”	250	2.700	4.000	5.400
A	MS-6 (curso 3)	1”	250	4.200	6.200	8.200
	MS-6 (curso 4)	1”	250	4.800	7.300	9.800
	MS-6 (curso 5)	1”	250	5.900	8.900	11.900
	MS-6 (curso 6)	1”	250	6.700	10.200	13.700
	MS-6 (curso 7)	1”	180	7.500	11.500	15.500
	MS-6 (curso 8)	1”	140	8.700	13.200	17.700
B	MS-4 (curso 9)	1. ¼”	220	17.000	25.500	34.000
	MS-4 (curso 10)	1. ¼”	220	20.000	30.000	40.000
	MS-4 (curso 11)	1. ¼”	220	23.000	34.500	46.000
	MS-4 (curso 12)	1. ¼”	150	25.000	38.000	51.000

***Obs:**A vazão indicada se consegue dependendo do volume disponível para o acionamento da roda, da altura de bombeamento e diâmetro da tubulação.

Tabela 04: Diâmetro da tubulação para acionamento da roda de acordo com a vazão

Vazão (lit./seg.)	Até 2	2 a 4	4 a 8	8 a 15	15 a 30	30 a 50	50 a 80
Diâmetro do tubo	2”	3”	4”	6”	8”	10”	12”

Tabela 05: Limite de distância e profundidade de sucção *

Distância de sucção	Até 3 m	3 a 10 m	10 a 20 m	20 a 30 m	30 a 40 m	40 a 50 m
Profundidade máx. de sucção	6 m	5 m	4 m	3 m	2 m	1 m

Tabela 06: Diâmetro mínimo da tubulação de bombeamento

Distância de bombeamento (metros)	PVC rígido	Tubo de polietileno*	PVC rígido	Tubo de polietileno*	PVC rígido	Tubo de polietileno*
	MS-32	MS-32	MS-6	MS-6	MS-4	MS-4
Até 3.000	¾"	¾"	1"	1"	1. ¼"	1. ¼"
3.000 a 5.000	¾"	¾"	1"	1. ¼"	1. ¼"	1. ½"
5.000 a 10.000	¾"	1"	1. ¼"	1. ¼"	1. ½"	1. ½"

***A utilização de tubo de polietileno se limita à altura manométrica de 60 m.**

Tabela 07: Vazão mínima para o acionamento da roda (litros por segundo)

Desnível (metro)	Número da Regulagem do Curso dos Pistões												Roda a ser Instalada
	MS-32		MS-6						MS-4				
	6	3	8	7	6	5	4	3	12	11	10	9	
10	1,2	0,6	2	1,7	1,5	1,2	1	0,8	6	6	5	5	Roda Padrão ▲
20	1,6	0,8	3	2,6	2,2	1,8	1,5	1,1	7	7	6	6	
30	2,0	1,0	4	3,5	3	2,5	2	1,5	9	8	7	7	
40	2,4	1,2	5,5	4,5	4	3	2,5	2	11	10	9	9	
50	3,0	1,5	7	6	5	4	3	2,5	13	12	11	11	
60	3,6	1,8	8,5	7	6	5	4	3	15	14	13	12	
70	4,2	2,1	10	8,5	7	6	5	4	17	16	14	13	
80	4,8	2,4	12	10	8,5	7	6	5	20	18	16	15	
90	5,4	2,7	14	12	10	8,5	7	6	22	20	18	17	▼ Roda Super
100	6,0	3,0	16	14	12	10	8	7	25	24	21	18	
120	8,0	4,0	20	16	14	12	10	8	30	27	24	21	
140	10,0	5,0	24	20	16	14	12	10	35	30	27	24	
160	-	6,0	-	24	20	16	14	12	-	35	30	27	
180	-	7,0	-	-	24	20	16	14	-	-	35	30	
200	-	8,0	-	-	-	24	20	16	-	-	-	35	
250	-	10,0	-	-	-	-	24	20	-	-	-	-	

5.4.1.4- Montagem – Funcionamento – Manutenção

- Fixação das Bombas -

As Bombas hidráulicas devem ser afixadas em base de alvenaria ou sobre cavaletes de ferro, de preferência, ou ainda sobre madeiras, observando-se apenas o nivelamento da bomba, não exigindo quaisquer condições especiais para montagem. Recomenda-se apenas uma capa de proteção ou qualquer outro tipo de cobertura, evitando dessa forma, que a água que cai sobre a roda caia também sobre a bomba com areia ou outros detritos.

- Condições da Roda D'Água -

a)As Rodas D'Água para força motriz são fornecidas juntamente com as bombas, em medidas padrões por serem as que melhor se adaptam em condições normais de montagem.

b)Em casos especiais para montagem, essas rodas poderão sofrer alterações, tanto em sua altura como na largura, de acordo com o volume de água e altura da queda d'água.

c)Nos casos em que a queda d'água for inferior a 80cm, a montagem pode ser feita com rodas normais ou rodas de paletas**,** dentro de uma canaleta com água corrente.

OBS: nestes casos aconselha-se fazer estudo prévio. Tais tipos de rodas são fornecidos pela fábrica mediante encomenda.

- Captação da Mina -

Para se conseguir uma captação perfeita de mina, deve-se procurar uma ou mais minas, captando-se a água diretamente da nascente com cano, lacrando com cimento e conduzindo a água para uma caixa central, a qual deverá ser tampada, evitando-se assim contaminação e impurezas, e daí a água será puxada para a bomba. Em casos de excesso de areia na água captada, recomenda-se fazer uma caixa de decantação com divisões.

- Cano de Entrada -

O cano de entrada é ligado no furo inferior situado na tampa da caixa de válvulas, logo abaixo do balão de recalque. Aconselha-se usar uma válvula de extremidade (cebolinha) quando a captação de água for a mais de 1 metro abaixo do nível da bomba ou em distância superior a 2 metros. É indispensável à utilização de tela de nylon (acompanha a bomba) revestindo a válvula de extremidade ou boca do cano, para evitar a aspiração de ciscos ou quaisquer outras impurezas.

- Cano de Saída -

O cano de saída é ligado no furo superior, situado no balão de recalque, logo acima da caixa de válvulas. Aconselha-se usar uma luva de união e um **"tee"** para facilitar o manejo e testes na bomba.

IMPORTANTE: o encanamento da rede de recalque deve ser sempre o de medida recomendado (ou acima) para cada modelo de bomba, não podendo nunca ser de medida inferior à especificada.

- Recomendações Úteis -

a) Deixar a bomba funcionando sem interrupções de preferência.

b) Abrir ao menos a cada 6 meses o **"tee"** de saída da bomba, dando descarga no encanamento de recalque provocando uma lavagem de detritos e impurezas que se formam com o decorrer do tempo.

c) Manter a bomba limpa e isenta de sujeiras e areia, geralmente ocasionada por chuvas ou enchentes, para uma maior durabilidade. Aconselha-se cobrir a bomba.

- Manutenção -

A manutenção das bombas hidráulicas consiste apenas em:

a) **Lubrificação:** lubrificar rigorosamente os pontos de graxa a cada 30 dias e após enchentes. Usar graxas de 1ª linha ou graxas especiais para rolamentos.

b) **Gaxetas:** a troca de gaxetas é feita normalmente a cada seis meses de trabalho. É necessário reapertar as gaxetas toda vez que se notar vazamento de água pelos pistões. Na reposição de gaxetas novas, apertar somente o necessário que proporcione uma perfeita vedação da água.

OBS: quando se notar golfadas de água ao invés de jato contínuo ou quebra de produção, pode ser devido à acumulação de ar nos cilindros, neste caso, soltar as sobrepostas com a bomba funcionando e permitir que vaze água pelos pistões por 10 minutos e após, reapertar novamente as sobrepostas com as gaxetas ocasionando uma vedação perfeita.

c) **Válvulas:** quando se notar quebra na produção, pode ser devido às sujeiras que se acumulam nas válvulas. Neste caso, para retirá-las para limpeza, basta retirar os quatro parafusos existentes na caixa de válvulas, soltando-os. As válvulas estão afixadas, por pressão, na parte superior e inferior da mesma.

5.4.2- Carneiro Hidráulico

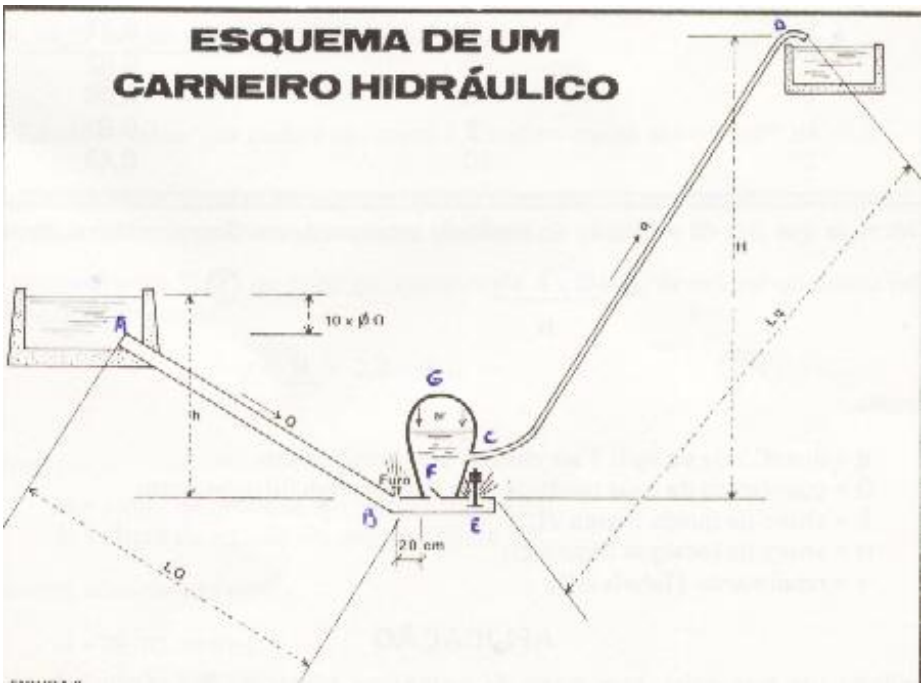
O carneiro ou aríete hidráulico, inventado em 1796 pelos irmãos Montgolfiei, é uma máquina muito simples e de grande utilidade para a elevação de água nas propriedades rurais, desde que disponha de um pequeno curso d'água que permite uma queda de certo caudal e que se deseja elevar somente uma fração deste. A queda, ou diferença de nível, é, em geral produzida artificialmente por meio de pequenas barragens, canal de irrigação, etc.

O carneiro hidráulico, uma vez instalado, trabalha dia e noite, não necessitando de força motriz para funcionar, pois utiliza, como energia, a própria queda de água, elevando automaticamente parte desta.

5.4.2.1- Constituição e Principio do Funcionamento

Consta, o carneiro hidráulico, para o seu funcionamento dos seguintes componentes:

Figura 08 – Constituição e principio de funcionamento de um carneiro hidráulico



a) Tubo adutor ou de alimentação – **AB**;
b) Válvula de escapamento. **E** (que dá saída, durante algum tempo, a água de alimentação. Esta válvula se fecha de baixo para cima).
c) Válvula de recalque – **F** (que deixa a água penetrar na câmara de ar **G**, a cada golpe de aríete. Esta válvula se fecha de cima para baixo).
d) Câmara de ar, ou campânula – **G** (que recebe a água que penetra pela válvula **G**).
e) Tubo de elevação ou de recalque – **CD** (que recebe a água da câmara **G** e a eleva até o reservatório superior).

A água penetra intermitentemente, em cada golpe de aríete, na câmara de ar, e é elevada de forma contínua, embora oscilante, até o reservatório superior graças à força elástica do ar da campânula, que funciona como um amortecedor (principio de funcionamento idêntico no das câmaras de ar das bombas de pistão).

5.4.2.2- Benefícios e Vantagens do Carneiro Hidráulico

A despesa de conservação do carneiro hidráulico é mínimo, visto possuir, como partes móveis, somente as válvulas de escapamento e de recalque. A primeira, constituída de liga apropriada, tem uma duração muito longa. A

segunda, revestida de couro ou de borracha, exige somente a substituição desse revestimento após muito tempo de uso, serviço comumente feito pelo produtor rural.

De tudo isso que o carneiro, pelo seu preço, pelo seu funcionamento automático, pela insignificante despesa de conservação e pela sua grande duração, é uma excelente máquina elevadora de água para o abastecimento de uma propriedade rural.

A única desvantagem que apresenta é o fato de exigir uma queda de certo caudal e só conseguir elevar uma fração deste, e, com um pequeno inconveniente, quando instalado junto da sede da fazenda, é o seu ruído, embora às vezes imperceptível, ocasionado pelas ininterruptas batidas da válvula de escapamento.

5.4.2.3- Seleção do Carneiro Hidráulico

Deve-se recorrer às casas especializadas ou as fábricas para se ter às tabelas com as características e tamanhos do carneiro hidráulico que melhor se adapte as condições que se tem em vista.

Na prática tem-se que levar em consideração o rendimento **R** do carneiro, ficando a fórmula com a expressão:

$$Q\ h\ R = q\ H$$

Sendo, segundo a **figura 8:**

Q = vazão recebida pelo carneiro (dada, geralmente, em l/min).

q = vazão elevada pelo carneiro (l/min).

h = altura de queda do reservatório de alimentação até o carneiro (m).

H = altura de elevação do carneiro ao reservatório superior (m).

R = rendimento do carneiro (%).

O rendimento **R** depende da relação **h/H** e da perfeição com que é fabricado o aparelho.

Como dado geral e considerando-se boas as condições de instalação e ajustagem, especialmente quanto ao número de batidas por minuto, achamos razoável tomar-se, aproximadamente, os valores da tabela, baseada em trabalhos de vários autores e observações nossas.

Valores Aproximados do Rendimento de um Carneiro

Relação h/H	R (%)
Até 1: 4	75 a 70
1: 4 a 1: 20	70 a 60
1: 20 a 1: 30	60 a 50

Da fórmula dada, os elementos de campo fornecem os valores da altura de queda **h** e de elevação **H,** donde se tira, na tabela acima, o valor **R.** Fica-se, portanto, somente com os valores de **Q** e acima de **q** que são determinados em uma função do outro, isto é: conhecendo-se a exigência em água de uma propriedade (tendo-se, portanto, **q**); determina-se **Q** ou, tendo-se este e desejando-se saber qual a vazão a ser elevada, determina-se **q**.

A **tabela 08** dá os tamanhos e características dos tipos comuns de carneiros usualmente encontrados no comércio e tendo nome dos fabricantes, como os carneiros “Cleverson”, “Queiroz Junior”, “Marumby”, etc.

Tabela 08 - Tamanhos e Características Aproximadas dos Carneiros "Cleverson", "Queiroz Junior", "Marumby", etc.

Tamanho	Diâmetro do Tubos (pol)		l/min neces. Ao Funcionamento		Queda mínima (m)	Peso (Kg)
	Entrada	Saída	Mínimo	Máximo		
2	¾	⅜	3	10	1,5	12
3	1	½	6	15	1,5	15
4	1½	½	10	25	1,5	30
5	2	¾	20	50	1,5	45
6	2½	1	45	90	1,5	75
7	2½	1¼	80	140	1,5	90

5.4.2.4- Cuidados na Instalação e no Funcionamento

Os seguintes cuidados são recomendados, pela maioria dos fabricantes, na instalação e no funcionamento de um carneiro:

Instalação

1. O carneiro deve ser assentado sobre uma base firme, nivelada e de preferência construída de concreto. Uma base pouco firme pode dar origem a trepidações que redundam em uma diminuição do rendimento.

2. A altura de queda, para os tipos comuns, não deve ser inferior a 1,00m, nem superior a 9m. No 1° caso há uma diminuição do rendimento e no 2° há um desgaste grande da válvula de escapamento em razão do forte golpe ocasionado por uma grande altura.

Há tipos de aríete, todavia, fabricados para funcionarem dando bom rendimento com altura de queda desde 0,60m e com o material resistente a quedas até 15m.

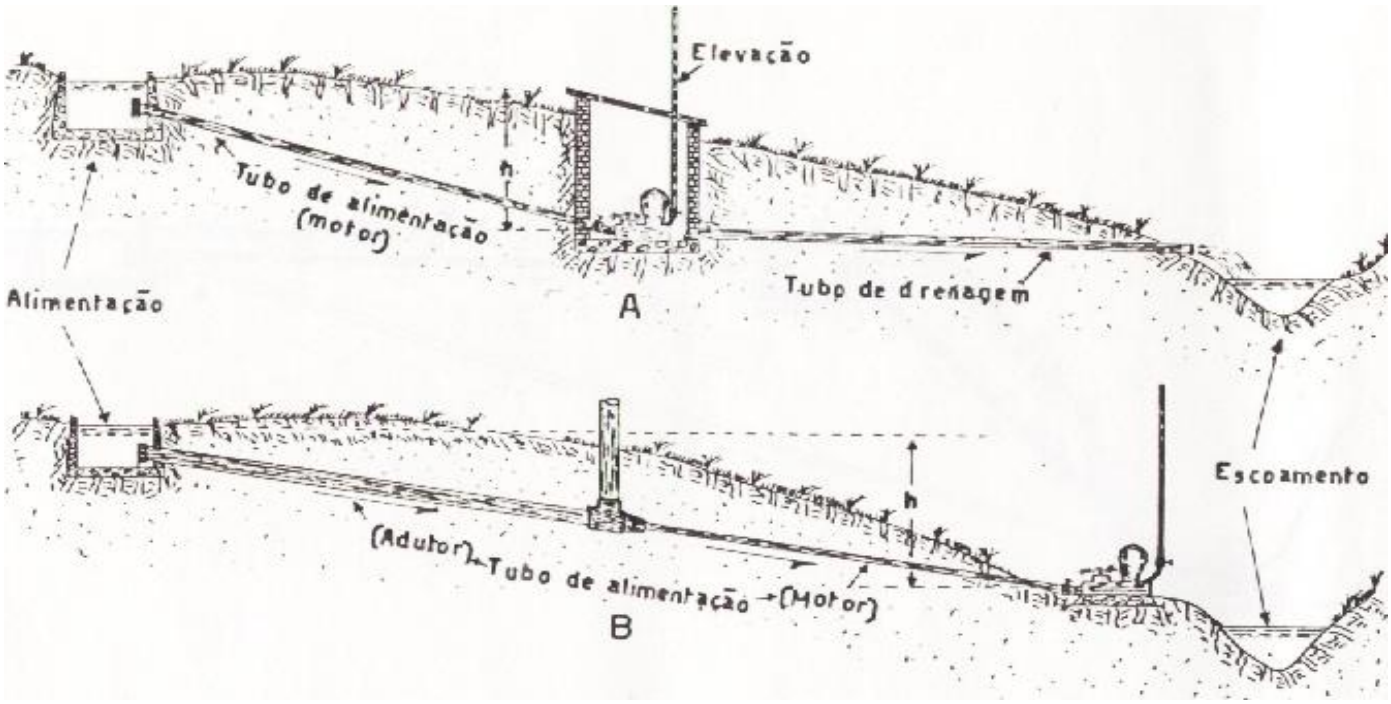
3. Os diâmetros dos tubos de alimentação e de elevação são determinados pelo tamanho do carneiro para o caso de uma instalação comum. Quando, porém, as tubulações tiverem que vencer grandes distâncias, os diâmetros devem ser um pouco aumentados a fim de se reduzir às perdas por atrito que uma longa canalização determina.

4. Os seguintes cuidados devem ser considerados na instalação do tubo de alimentação:

a)Seu comprimento (l), que na maioria das instalações varia de 8 a 15m, não deve ser muito grande mas nunca deve ser menor que a altura de elevação **H,** ou, no mínimo, **¾H**, ou ainda, para alguns autores, sua determinação pode ser feita pela fórmula: **l = H + 0,3 x H/h**

Um comprimento menor contém menos massa líquida e, no golpe do aríete, não consegue introduzir muita água na campânula, havendo algum refluxo para o reservatório de alimentação, o que redunda em menos água elevada.

Quando à distância entre o canal e o curso de água, próximo do qual se vai instalar o carneiro, é pequena, pode-se, para se conseguir um maior comprimento do tubo de alimentação, colocá-lo descendo em diagonal. Caso contrário, isto é, sendo muito grande aquela distância e desejando-se reduzir o comprimento do tubo, pode-se proceder conforme a **figuras 08A e 08B**:



Colocar o carneiro num corte do terreno próximo do canal, corte este com a necessária drenagem **(fig.08.A),** ou colocá-lo próximo ao curso de água **(fig.08.B)** mas, neste caso, começar com uma tubulação de maior diâmetro (geralmente 1 polegada a mais que a indicada pelo carneiro) e, ao passar para o comprimento requerido pela instalação, deixar um tubo vertical (para regular a velocidade) terminado um pouco acima da horizontal em relação à fonte de suprimento.

b)O tubo de alimentação deve ser traçado de modo a passar sempre abaixo da linha de pressão (linha imaginária que liga o nível de água do reservatório de alimentação ao nível da válvula de escapamento do carneiro). Passando o tubo adutor acima da linha de pressão, há entrada de ar nas juntas quando a água escoar pela válvula de escapamento, redundando em uma diminuição do rendimento ou na paralisação do funcionamento.

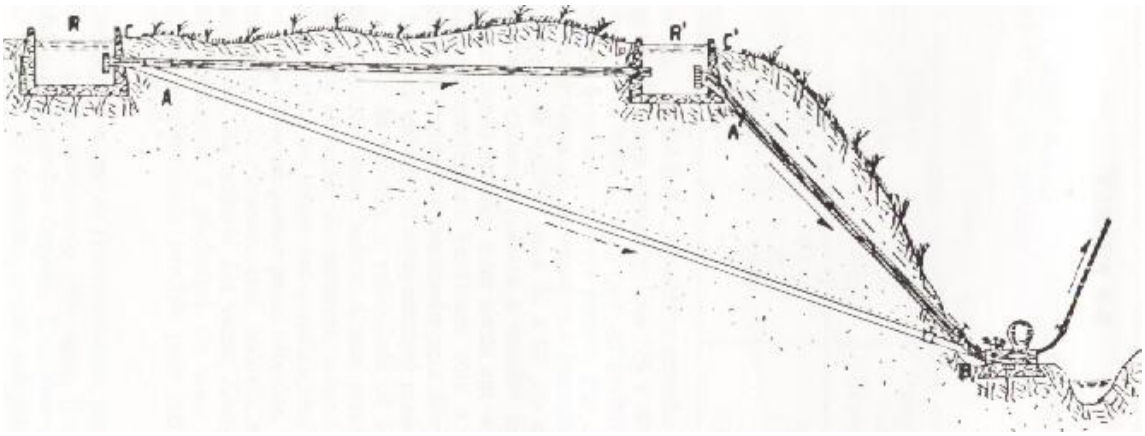
c)Deve ser o mais reto e direto possível, não devendo conter joelhos ou curvas muito fortes. Sendo imprescindível uma curva, esta deve ser feita curvando-se o próprio tubo.

d)O tubo deve ser provido de um ralo com crivos bem finos para evitar a entrada de folhas e outros corpos estranhos e deve estar mergulhado no mínimo 30cm no reservatório de alimentação, para evitar a sucção de ar.

e)É conveniente a colocação de um registro de passagem no tubo próximo ao carneiro, o mesmo acontecendo com relação ao tubo de elevação, logo na saída deste.

f)Todas as juntas devem ser cuidadosamente feitas para evitar a entrada de ar ou saída de água durante o golpe. O mesmo deve ser feito na ligação com o carneiro e no próprio aparelho.

Ás vezes a topografia do terreno, para que se leve a efeito o item **b,** faz com que fique mais econômico instalar um reservatório intermediário **R'** de onde parte o tubo de alimentação **A'B**, do que fazer um corte profundo para ligar o reservatório diretamente ao carneiro pelo tubo **AB.** No primeiro caso a linha de pressão é a reta **C'B**, enquanto no último seria **CB (fig.09).**



5. O encanamento de elevação poderia ter comprimento ilimitado se não fossem as perdas por atrito. Por isto deve-se procurar encurtá-lo ou, quando não for possível, deve-se aumentar seu diâmetro para um valor um pouco acima do indicado pelo carneiro. Deve-se, do mesmo modo, evitar a colocação de joelhos ou curvas fortes que aumentam as perdas e redundam em menos água elevada, e assentá-lo sempre em aclive, para evitar a formação de bolsas de ar.

6. Caso os carneiros encontrados no comércio não tenham capacidade para elevar a vazão desejada, pode-se recorrer à instalação de uma bateria de dois ou mais aparelhos. Recomenda-se fazer uma tubulação adutora independente para cada carneiro, embora uma única tubulação, de maior diâmetro, possa alimentar uma bateria, desde que os carneiros sejam regulados para dar o mesmo número de batidas por minuto e funcionar sincronizadamente. Este último modo de instalação traz uma economia muito grande de tubos.

O tubo de elevação pode ser um só, de maior diâmetro, que recolhe a água dos tubos de cada carneiro da bateria.

Funcionamento

1. Para pôr o carneiro em funcionamento, basta acionar algumas vezes a haste da válvula de escapamento até que ela trabalhe sozinha. Para que cesse o funcionamento, basta suspender a referida haste por alguns instantes.

2. O número de batidas por minuto da válvula de escapamento pode ser regulado por meio de contrapesos (ou um peso com vários braços de alavanca) adaptados à sua haste, e um parafuso de regulagem do comprimento desta haste, de modo a se obter o máximo de rendimento do carneiro para cada condição de instalação. Com muito peso e maior comprimento da haste, há menos batidas por minuto, mas em compensação, cada batida desenvolve maior pressão e consegue elevar mais água. Com menos peso e menos comprimento dá-se o inverso, sendo conveniente experimentar, em cada instalação, vários pesos (ou braços de alavanca) e vários comprimentos e escolher com qual o rendimento é máximo ou com qual a vazão é maior no reservatório superior, se for este o ponto mais importante.

Como exemplo da grande importância do número de golpes por minuto do carneiro, foram reproduzidos na **tabela 09**, os dados obtidos experimentalmente em uma instalação com 1,58m de queda e 4,58m de elevação (Addison, 1994, p.380).

Tabela 09 - Efeito da Variação do Comprimento da Haste da Válvula de Escapamento de um Carneiro.
(h = 1,58m; H = 4,58m)

Número de golpes por minuto	Água recebida (l/min)	Água perdida (l/min)	Água elevada (l/min)	Rendimento (%)
-	(Q)	(Q-q)	(q)	(R)
92	39,36	32	7,36	54%
110	29,88	23,6	6,28	61%
157	17,09	13	4,09	69%

Com vistas na **tabela 09** e em outros experimentos, conclui-se como dado geral que, com menos golpes (25 a 40 por minuto), o carneiro perde e eleva mais água, o que em muitos casos é de conveniência, embora o rendimento seja menor. Por outro lado, especialmente quando a fonte de suprimento é limitada, é conveniente aumentar o número de batidas para 60 a 90 por minuto, ou mais, pois assim sendo, o carneiro passará a receber menos água (perdendo e elevando menos líquido) e ter ainda um rendimento maior.

O aumento do rendimento verificado com o aumento do número de batidas do carneiro (ocasionado pela diminuição do comprimento da haste da válvula de escapamento) prende-se ao fato de, diminuindo o curso da válvula, a velocidade da água no tubo de admissão atingir valores mais baixos. Como resultado, as vazões de alimentação e de elevação são menores, redundando não só em menos perda por atrito ao longo das canalizações, como, também, em menos atrito da água ao passar pelas válvulas, o que se traduz em maior rendimento do carneiro. Isso, todavia, nem sempre é o mais importante, pois, na maioria das vezes, desde que haja água de alimentação suficiente, é preferível ter mais água em cima, pouco importando a quantidade perdida pelo carneiro, isto é, ao seu menor rendimento.

3. Com algum tempo de funcionamento, pode o ar existente na campânula ir sendo substituído pela água, ficando eliminado, portanto, o efeito amortecedor daquele. Com isso o jato sai intermitentemente no tubo de elevação, o que redunda não só na diminuição do rendimento como, às vezes, na paralisação do funcionamento. Para eliminar essa água, a maioria dos carneiros traz uma torneira ligada à parte inferior da campânula, devendo ser ela aberta de quando em vez. Para facilitar a saída da água, alguns carneiros trazem um parafuso colocado na parte superior da campânula que, aberto, permite a entrada de ar por cima, evitando que o ar aprisionado retenha a água quando a torneira estiver aberta.

Ainda quanto à remoção da água da câmara de ar, há tipos aperfeiçoados de carneiros que são providos de um pequeno orifício, as vezes munido de uma minúscula válvula automática, instalada próxima à válvula de escapamento, que, em razão do breve momento de pressão negativa criado logo após o golpe, deixa penetrar uma certa quantidade de ar necessária para compensar a parte que se perde em cada batida. Para carneiros comuns, pode-se alcançar isso mediante a perfuração de um pequeníssimo orifício no tubo de alimentação, bem próximo ao carneiro (1 a 2mm de diâmetro).

Energia Eólica

6. ENERGIA EÓLICA

A utilização da energia eólica no acionamento de dispositivos para bombeamento, irrigação e moagem de cereais é antiga. Existem referências de usos na irrigação 400 anos antes de Cristo, na China e na Índia.

As referências de uso na Europa datam do século XIII da nossa era, introduzidas pelas cruzadas de regresso da terra santa.

Contribuíram decisivamente no aproveitamento de regiões semi-áridas, onde o aeromotor denominado **"catavento"**, um rotor de grande número de pás, operando bombas permitiram a implantação de fazendas neste tipo de região, principalmente no oeste do EUA, na América do Sul, Mediterrâneo, Austrália e África do Sul.

Nos anos vinte até a metade dos anos cinqüenta, forneceram eletricidade para iluminação e operação de rádios para milhares de fazendas nos EUA.

Os primitivos cataventos foram sendo aperfeiçoados e até substituídos por modelos tecnicamente mais aconselháveis, principalmente, quando mais recentemente, se pretendeu usá-los no acionamento de geradores elétricos.

Nas últimas três décadas, usinas eólicas experimentais com potências variando de 10 até mais de 1000KW, com aeromotores de poucas pás, de grande comprimento e girando a alta velocidade, foram instalados com sucesso na União Soviética, EUA, Dinamarca, França, Inglaterra e Alemanha.

Apesar da energia eólica não poder ser aproveitada de forma contínua e uniforme, pois os ventos variam com as estações do ano, ela pode ser considerada inesgotável, e no caso do acionamento de bombas ou dispositivos para irrigação e moagem, que não necessitam, em geral, de uma perfeita regularidade, a descontinuidade no fornecimento de energia pelo ar ao aeromotor não é empecilho à sua utilização.

6.1. Classificação

Basicamente os aeromotores, ou também denominados motores eólicos, são classificados com relação à posição de sua árvore motriz, ou seja, da árvore onde se fixam as pás, ou hélices (as quais formam o rotor).

6.1.1. Motores eólicos de árvore horizontal

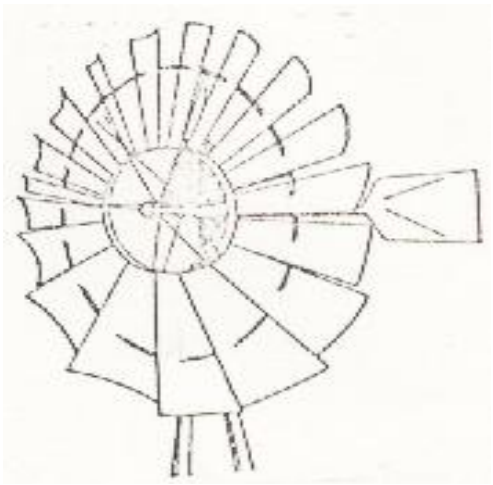
São máquinas em que as pás ou rotor, movimentam-se num plano perpendicular à direção do vento e necessitam se orientar em relação a esta direção; tal orientação é obtida por meio de um leme ou cauda, colocado em sua parte posterior.

Os principais tipos são:

- Motores eólicos de uma, duas, três ou quatro pás, sendo os últimos conhecidos como moinhos holandeses.

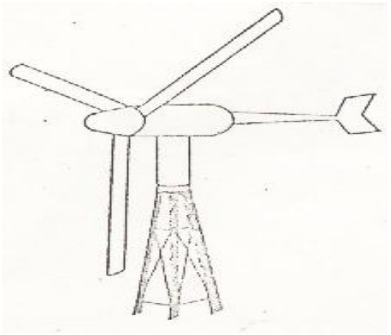
Catavento moinho holandês

- Motores eólicos de pás múltiplas, conhecidos também como cataventos ou moinhos americanos para fazendas.



Catavento p/ bombeamento d'água

- Motor de árvore horizontal usado na geração de eletricidade; trabalham em geral a rotações mais elevadas.



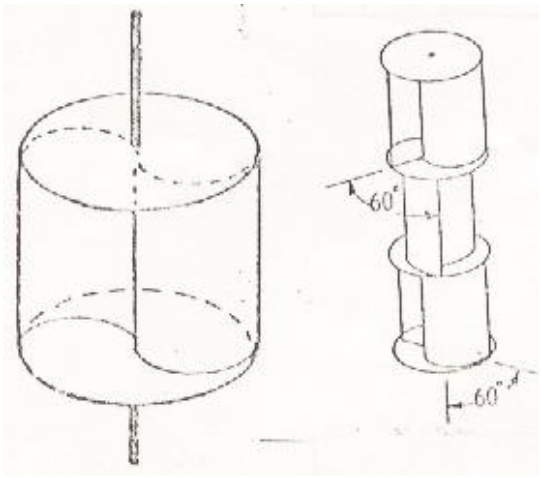
Catavento gerador de energia

6.1.2. Motores eólicos de árvore vertical

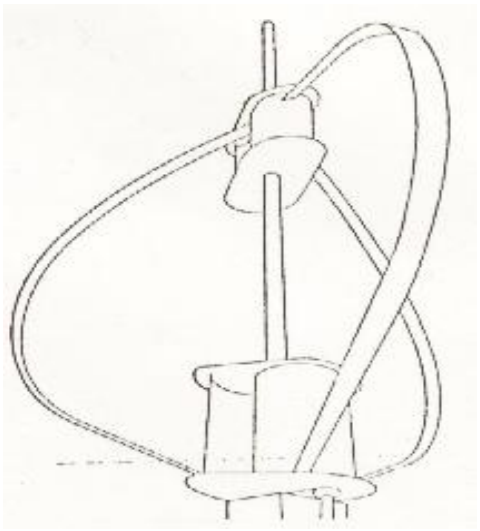
São máquinas que apresentam a vantagem de captar o vento em qualquer direção, portanto recomendadas para locais onde o vento muda constantemente de direção.

Entre os principais tipos de motores com árvore na vertical temos:

- Rotor tipo Savonius, de construção simples mas de baixo rendimento, o qual se deve ao fato de que metade da área do rotor tem movimento contrário ao do vento.



- Rotor tipo Darrieus que possui duas ou três pás, ou lâminas, presas nas extremidades da árvore.



6.2. Principio de Funcionamento

O vento é ar em movimento, possuindo portanto, energia cinética. Considerando-se o caso dos cataventos, dotados de considerável número de pás, constituídas de chapas curvas, e admitindo-se que o processo de transformação da energia cinética do ar em trabalho mecânico realiza-se ao longo de um tubo imaginário, no interior do qual é colocado o rotor do catavento, ocupando completamente uma secção do escoamento, pode-se dizer que:

"a potência **P** contida no vento que incide frontalmente com uma velocidade $\mathbf{V_1}$ no rotor, com diâmetro **D**, é proporcional à altura dinâmica $\mathbf{H = V_1^2 * 2g}$ e à descarga, ou vazão mássica do ar,

$$Q = \frac{\gamma ar \cdot \pi \cdot D^2}{4} \cdot V_1''$$

Resulta que:

$$P_{CV} = \frac{\gamma ar \cdot \pi \cdot D^2 \cdot V_1}{4} \cdot \frac{V_1^2}{2g} \cdot \frac{1}{75} = \frac{\gamma ar \cdot S \cdot V_1^3}{2 \cdot g \cdot 75}$$

e tomando-se:

g = aceleração da gravidade, 9,81 m/s^2

γ = peso específico do ar, 1,29 Kg/m^3

resulta em:

$$P_{CV} = 0{,}000876 \cdot S \cdot V_1^3$$

ou fazendo-se as devidas transformações de unidades:

$$P_{KW} = 0{,}000644 \cdot S \cdot V_1^3$$

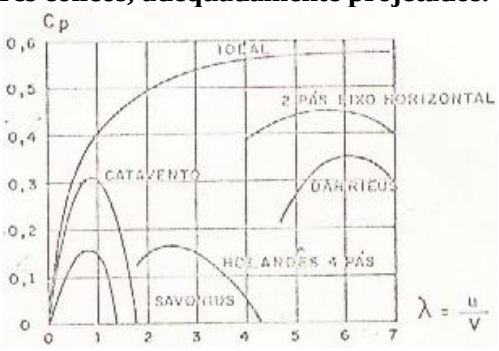
Esta é a potência disponível do vento, e no caso de seu aproveitamento por meio de um motor eólico, certas restrições limitam a potência final disponível na árvore do rotor; entre as principais causas podemos citar:

- O ar ao atravessar o rotor cede energia, mas como sai animado ainda de certa velocidade nem toda a energia é cedida;
- Existe perda aerodinâmica nas pás;
- O número de pás, tipo, formato e ângulo de inclinação das mesmas variam de motor para motor.

Cada tipo de motor eólico tem portanto, um rendimento máximo de projeto; tal rendimento é obtido com o motor trabalhando sob determinada velocidade do ar, tipo, curvatura e ângulo das pás; ao se trabalhar as velocidades maiores ou menores o rendimento decrescerá.

As pesquisas conduzidas levaram à determinação de um parâmetro denominado **"tip espeed ratio"**, razão entre a velocidade periférica das pás **(u)** e a velocidade do vento **($\mathbf{V_1}$)**, o qual está relacionado com o rendimento dos motores eólicos (denominado por alguns autores como coeficiente de potência **$\mathbf{C_P}$**).

Gráfico 01 - Variação do rendimento ou coeficiente de potência C_P, em função de para vários tipos de motores eólicos, adequadamente projetados.



6.3. Potencial Energético Eólico

Os motores eólicos devem ser colocados sobre torres, objetivando-se alcançar ventos de maiores velocidades e livres dos obstáculos como árvores, edificações, etc.

A principal característica do vento é a variabilidade de sua velocidade, é somente a partir de registros contínuos, via anemógrafo poderemos obter:

- Velocidade máxima instantânea: importante no projeto de mecanismos de controle e severidade das solicitações mecânicas que sofrerão o motor e a torre onde ele está instalado.
- Velocidade média para vários níveis de tempo: velocidade média horária, mensal e anual, que são dados importantes na estimativa do potencial da energia eólica de um dado local.

O conhecimento da velocidade média horária do vento, para cada hora do dia e em todos os dias do ano, permite montar um gráfico da curva de duração do vento e determinar a sua velocidade nominal, a qual permite dimensionar o motor para máximo aproveitamento de sua energia.

Para isso estabelece-se, por exemplo, níveis de 5 em 5 ou 10 em 10 Km/h no eixo das ordenadas do gráfico 2, e para cada nível soma-se às horas durante as quais a velocidade daquele nível **(vide quadro 1)**, e em seguida com as horas do ano no eixo das abscissas, plota-se no gráfico, obtendo-se a curva de duração da velocidade do vento.

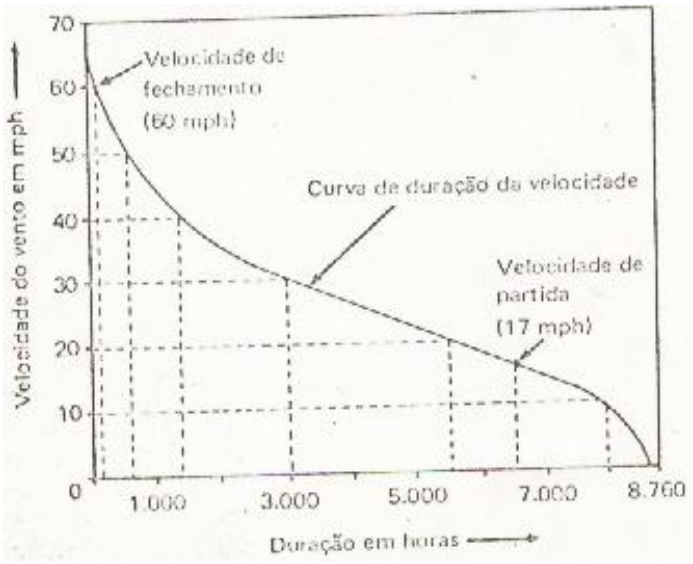
No próprio gráfico incluem-se as velocidades de partida e de fechamento do motor eólico, que em média tem os seguintes valores:

- velocidade de partida:
  - acionamento de bombas – 2 a 2,5 m/s ou 7,2 a 9,0 Km/h.
  - acionamento de gerador elétrico, moinho, etc – 3 a 4 m/s ou 10,8 a 14,4 Km/h.
  - velocidade de fechamento – 13 a 15 m/s ou 46,8 a 54,0 Km/h.

Quadro 01 – Níveis de velocidade do vento e tempo de duração na qual a velocidade manteve-se igual ou superior ao valor do nível.

Níveis de Velocidade do Vento (milhas/hora)	Tempo durante o qual a velocidade manteve-se igual ou superior ao valor do nível (horas)
0	8.760
10	7.850
20	5.500
30	3.000
40	1.250
50	500
60	120

Gráfico 02. – Gráfico da Curva de duração da velocidade dos ventos.



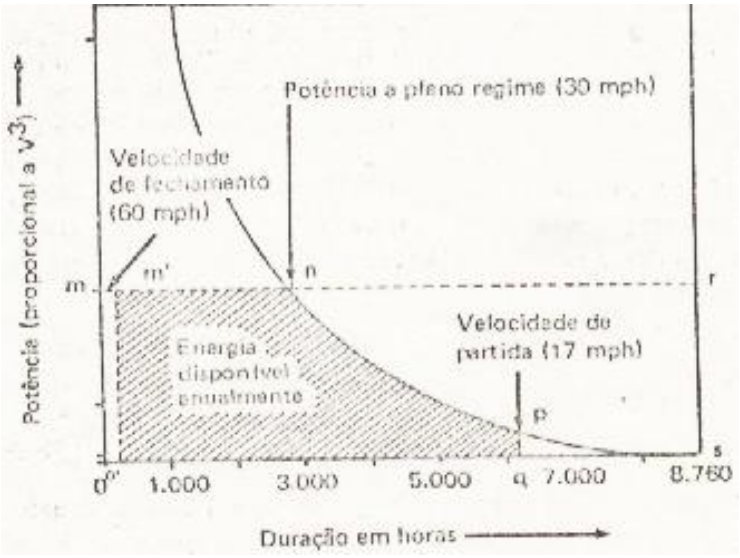
A velocidade nominal do vento é o nível de velocidade que torna máximo o potencial energético eólico anual (ou seja, torna máximo o produto $\mathbf{V^3.t}$), conforme **quadro 2.**

Quadro 02 – Nível de velocidade no qual o potencial Energético anual é máximo.

V (milhas/hora)	T (horas)	Potencial energético eólico anual ($V^3.t$)
0	8.760	0,00
10	7.850	$7,85 \times 10^6$
20	5.500	$44,0 \times 10^6$
30	3.000	$81,00 \times 10^6$
40	1.250	$80,00 \times 10^6$
50	500	$62,50 \times 10^6$
60	120	$25,92 \times 10^6$

Elevando-se ao cubo os valores do eixo das ordenadas da curva de duração da velocidade, visto que a potência é proporcional ao cubo desta, obtém-se a curva de duração da potência mostrada no **gráfico 3**.

Gráfico 03 – Gráfica da curva de duração da potência.



A área do retângulo **o m r s** representa a energia que se poderia obter se o motor eólico trabalhasse o ano todo a pleno regime. A área hachuriado **o'm'n p q** representa a energia disponível no ano e a relação entre as áreas. (o'm' n p q/o m r s) é denominada "fator anual de carga".

Considera-se como locais favoráveis à instalação de motores eólicos aqueles em que o regime de ventos permite obter com um motor, um fator anual de carga de 0,342 (3000 Kw h/ano/Kw instalado ou 3000 Kw h/8760 h/Kw = 0,342).

O fator de carga multiplicado por 8760 (número de horas num ano) fornece a denominada **"energia específica disponível"** – T_S (em Kw h/ano/Kw ou CV h/ano CV etc).

6.4. Custo da Energia Eólica

As parcelas que compõem o custo da energia eólica (**C_e**) são:

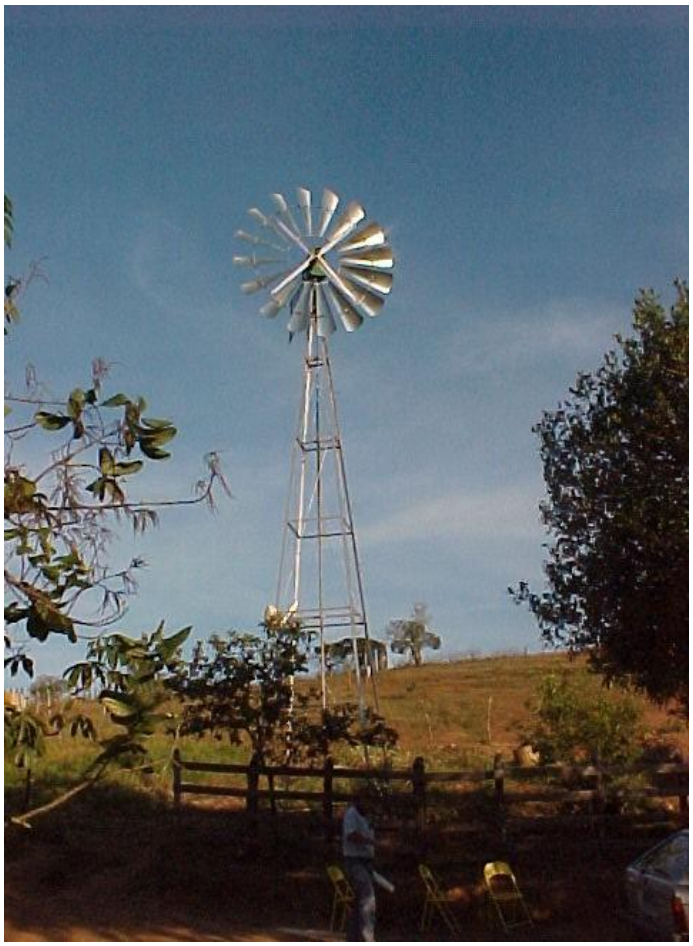
K_P – valor atual da instalação por potência nominal do mesmo ($/CV ou $/KW, etc).

D – despesas com juros, amortização e manutenção. Seu valor varia, por exemplo, desde 8%, nas grandes instalações, até 15%, nas pequenas instalações na Inglaterra, do custo da energia produzida por ano. No Brasil, para cataventos em recalque de água estima-se que o valor seja da ordem de 15% a 25%.

$$C_e = D \frac{K_P}{T_S} \quad (\$/KW\ h)$$

6.5. Avaliação de Desempenho de um Catavento para Bombeamento D'Água

Apesar de Minas Gerais, por ser um estado interior, não se caracterizar por velocidades de vento elevadas, dispõe, em quase todo seu território, de ventos com velocidades suficientemente altas para viabilizar a instalação de cataventos do tipo multipá, para bombeamento d'água.



O catavento utilizado para bombeamento d'água é um equipamento simples, robusto, exige pouca manutenção e opera com baixas velocidades de vento, o que lhe confere um grande potencial para aplicação no meio rural.

Pode ser utilizado no bombeamento d'água para irrigação, para animais e para uso doméstico, podendo recalcar água de poços, rios e lagos até alturas manométricas de 100 metros.

A utilização generalizada de cataventos esbarra numa série de dificuldades tais como custo inicial elevado, falta de informações a respeito das vantagens e do desempenho do equipamento, falta de dados das características dos ventos locais, etc.

Visando superar algumas destas dificuldades, o Programa Fazenda Energética propiciou a instalação de um catavento na Unidade de Experimentação de Uberaba, com o objetivo de testar o equipamento, avaliando seu desempenho, propor modificações aos fabricantes e divulgar aos proprietários rurais os resultados obtidos enfocando aspectos técnicos e econômicos. O catavento instalado em Uberaba é do tipo multipá de alto torque para baixas velocidades.

Está instalado em torre metálica de 9(nove) metros de altura e aciona uma bomba d'água que recalca água de um poço de 9(nove) metros para uma caixa d'água a 3(três) metros acima do solo, que abastece bebedouros para bovinos.

6.5.1. Metodologia

A avaliação do desempenho consistiu, basicamente, na monitoração e análise dos dados de velocidades médias diárias do vento no local e o volume diário de água bombeada.

Para tal, foi instalado próximo ao local do catavento, um anemógrafo, aparelho que mede a velocidade do vento e imprime os valores em rolo gráfico. O anemógrafo está instalado sobre uma torre de 12 metros de modo a registrar o vento em condições semelhantes ao catavento. Os rolos gráficos do anemógrafo são substituídos mensalmente e posteriormente os dados são processados para a obtenção das velocidades de vento medidas.

Para medição do volume de água bombeada, foi instalado um hidrômetro na tubulação de recalque. A leitura do hidrômetro é feita diariamente em um mesmo horário, de modo a se ter à vazão a cada 24 horas.

6.5.2. Dados Obtidos

Os dados aqui analisados referem-se às medições efetuadas no ano de 1988.

DADOS	MESES												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Volume de água bombeada (m^3)	268	184	266	234	214	359	441	421	181	287	236	239	3.334
Nº de dias pesquisados	31	28	30	30	31	30	29	28	11	24	26	30	328
Volume médio diário (m^3)	8,65	6,57	8,87	7,80	6,90	11,97	15,21	15,18	16,45	11,96	9,08	7,97	10,16
Velocidade média diária do vento (Km/h)	14,3	10,1	13,1	12,3	11,7	15,4	16,1	17,7	17,3	16,1	14,3	12,5	14,2
Velocidade máxima do vento (Km/h)	33,8	18,4	24,8	38,5	36,7	36,4	37,8	39,6	42,8	42,5	34,6	31,0	42,8
Potência eólica média disponível (W/m^2)	54	16	41	33	29	67	76	96	94	77	55	36	56
Ocorrência de calmaria – velocidade de vento < 5 Km/h (%)	3,2	7,2	2,7	2,2	3,7	2,7	2,4	0,5	1,8	1,9	2,5	4,1	2,9

Fonte: CEMIG/Fazenda Energética.

6.5.3. Considerações Técnicas

O equipamento em questão não tem apresentado problemas operacionais que impeçam o seu funcionamento em regime contínuo, demonstrando ser um equipamento confiável e de baixa manutenção.

O local onde está instalado apresenta velocidades médias de vento superior à média do Estado de Minas Gerais (12 Km/h).

A ocorrência de velocidades de vento inferiores a 5 Km/h são consideradas calmarias, visto que os cataventos para bombeamento d'água começam a operar com velocidades de vento superior a 5 Km/h. No caso de Uberaba, a ocorrência de calmaria foi insignificante, representando apenas 2,9% do período de um ano.

O catavento estudado está abastecendo bebedouros de animais, mas poderia perfeitamente estar suprindo água para irrigação através de sistema de gotejamento ou xiquexique.

A inclusão de uma caixa d'água de maior capacidade junto ao sistema proporciona uma regularização do fornecimento de água, compensando a alternância de período de calmaria e de grandes intensidades de vento.

6.5.4. Conclusões

Os dados aqui apresentados permitem concluir que os cataventos para bombeamento d'água são equipamentos com grande potencial para aplicação no meio rural, seja como alternativa para bombeamento d'água em locais distantes da rede elétrica, como também na substituição de motobombas diesel, em locais onde haja certeza da existência de ventos com velocidade média e períodos de calmaria, próximos dos encontrados na Fazenda Energética de Uberaba.

6.6. Usina Eólio-Elétrica CEMIG

A CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais vem, há vários anos, pesquisando as fontes alternativas de energia como solar, eólica e biomassa entre outras, visando o desenvolvimento de suas utilizações.

Estudos preliminares, baseados em medições realizadas em mais de 60 locais, indicaram a existência de sítios promissores para o aproveitamento da energia dos ventos em diversas regiões do Estado de Minas Gerais.

No período 1983-1984, a CEMIG realizou medições do regime do vento no local denominado Morro do Camelinho, situado sob a Serra do Espinhaço, visando à instalação de um gerador eólico de 2,2 KW, para suprimento elétrico de uma estação repetidora de radiocomunicação. Estas medições demonstraram que o local se apresentava promissor para o aproveitamento energético do vento, levando a CEMIG a escolher este sítio, para início dos estudos visando à implantação, em caráter experimental, de uma eólio-elétrica de grande porte.

No segundo semestre de 1992, este projeto foi enquadrado no Programa Eldorado do Ministério de Ciência e Tecnologia do Governo Alemão (BMFT), que oferecia subsídios de até 70%, a fundo perdido, contemplando o custo total dos equipamentos eólicos e o transporte, até o local de instalação.

Neste mesmo ano, foi assinado um acordo entre a CEMIG e o fabricante alemão TACKE WINDTECHNIK, para o fornecimento e supervisão de montagem da Usina Eólio-Elétrica do Morro do Camelinho, de 1 MW.

Em fevereiro de 1994, a usina obteve sua Licença de Instalação, após o cumprimento de todas as exigências da FEAM, órgão de licenciamento ambiental do Estado de Minas Gerais, e teve sua instalação concluída em abril deste mesmo ano.

O projeto contou com a participação do Grupo de Energia Eólica da **UFPE**, que fez o estudo para a localização dos pontos para a instalação dos geradores eólicos e da **DELP**, empresa situada em Minas Gerais, que fabricou as torres de aço.

O empreendimento teve o apoio dos governos do Brasil e do Estado de Minas Gerais, que isentaram os impostos e tarefas referentes à compra dos equipamentos, e da **FINEP**, que financiou a contrapartida da **CEMIG**.

Dados Básicos:

- **Localização:** Morro do Camelinho, município de Gouveia, MG, a 240 Km de Belo Horizonte.
- **Latitude:** 18°34’S
- **Longitude:** 43°51’O
- **Altitude Média:** 1330 metros
- **Velocidade Média do Vento:** 6 – 7 m/s.

A usina utiliza 4 geradores eólicos com potência nominal de 250 KW cada, totalizando uma potência instalada de 1000 KW. Cada turbina é montada sobre uma torre tubular cônica de aço de 30 metros de altura, com uma escada interna de acesso.

O rotor é do tipo eixo horizontal e composto de 3 pás com 26 metros de diâmetro, varrendo uma área de 531 m².

A eletricidade é gerada através de um gerador assíncrono trifásico, com tensão de saída de 380 V, freqüência de 60 Hz e enrolamento duplo para potência de 80 e 250 KW.

Esta tensão é elevada para 13,8 KV e transportada até uma subestação, onde esta é novamente elevada 34,5 KV e então conectada à linha de transmissão Paraúna-Gouveia da CEMIG, de mesma tensão, que passa cerca de 500 metros do local.

6.6.1. Funcionamento do Gerador Eólico

A massa de ar ao atingir as pás do gerador eólico, provoca um movimento de rotação no eixo do rotor. Este movimento é transmitido para uma caixa de engrenagens que eleva a rotação do eixo, onde está acoplado o gerador elétrico.

Quando o vento atinge a velocidade de 3,0 m/s, o gerador elétrico começa a produzir eletricidade através do seu 1º estágio (80 KW). Com uma velocidade superior a 7,0 m/s seu 2º estágio (250 KW) passa a atuar.

O gerador eólico atinge sua máxima potência com a velocidade do vento de 14 m/s. A partir desta velocidade um freio aerodinâmico, situado na ponta da pá, começa a atuar para impedir o aumento de velocidade das pás. Existe também um sistema de freio hidráulico que age sobre o eixo do rotor, quando necessário.

O funcionamento da usina é totalmente automatizado. Um sistema de supervisão e controle monitora suas principais variáveis operativas como tensão, freqüência, vibração das torres, temperatura e pressão do fluido do freio. Se algum problema operativo persistir, ou se o mesmo for de maior gravidade, o sistema de supervisão e controle interromperá a operação.

Como a usina está interligada a um sistema elétrico de grande porte as eventuais perturbações no sistema elétrico, devido às oscilações do vento, são minimizadas.

Outros Dados Técnicos:

- **Regulação:** "stall"
- **Velocidade de partida:** 3 m/s
- **Velocidade de corte:** 25 m/s
- **Velocidade de sobrevivência:** 60 m/s
- **Rotação das pás:** 31,5/42 rpm
- **Rotação do gerador:** 900/1200 rpm
- **Direção de rotação:** horária
- **Relação de transmissão:** 28,6
- **Número de pólos:** 6/8 pólos
- **Corrente nominal:** aprox. 150/435 A
- **Material das pás:** resina polyester reforçada com fibra de vidro, acabamento com gelcoat.
- **Fator de potência (cosφ):** 0,77/0.815

6.6.2. Considerações Econômicas

O custo total de implantação da usina foi de US$1.540,00 sendo que US$790,00 (51%) pagos pelo programa **ELDORADO** do governo alemão e US$750,00 (49%) custeados pela **CEMIG** e financiados pela **FINEP**.

Para a velocidade de vento média do local, estimada entre 6 e 7 m/s (a 30 metros de altura) prevê-se uma produção média anual de energia elétrica entre 1500 e 1800 MWh.

Os custos da energia elétrica produzida estão previstos entre US$115/MWh – US$96/MWh, considerando o custo total do projeto e entre US$57/MWh – US$48/MWh, considerando-se apenas o investimento efetuado pela CEMIG.

6.7. Comentários Gerais sobre Energia Eólica

6.7.1. Sistemas eólicos quanto ao porte:

- Pequeno ≤ 10 kW
- Médio > 10 ≤ 300 kW
- Grande > 300 kW

Nota: a turbina eólica é projetada para funcionar no mínimo 25 anos.

6.7.2. Aspectos Ambientais da Energia Eólica

- Poluição Sonora: ruído das pás ao se movimentarem.
    - Para distância > 300m o nível de ruído é < 45 decibéis.
- Ecologia: morte de aves ao se chocarem contra as pás em movimento.

6.7.3. Energia Eólica na Dinamarca

- 3.500 turbinas instaladas;
- 485 MW gerados;
- 3,5% da matriz energética do país (país que mais utiliza essa fonte em relação ao consumo total), energia suficiente para abastecer 250 mil residências;
- US$80 milhões investidos anualmente no setor.

6.7.4. Energia Eólica nos Estados Unidos

- 20 mil turbinas instaladas na Califórnia;
- 1.600 MW gerados.

6.7.5. Energia Eólica na Alemanha

- 1.800 turbinas instaladas;
- 330 MW gerados;
- 0,8% da matriz energética do norte do país;
- Previsão de participação em até 10% da energia consumida no país.

Obs: os melhores ventos na Alemanha têm a velocidade de 7 m/s.

6.7.6. Projeto Paiol (Projeto Privado de Geração Eólica)

- **Localização:** granja pastoreiro, município Santa Vitória do Palmar, Estado do Rio Grande do Sul, Extremo Sul do País (distante 70 Km do Chuí).
- **Objetivo:** abastecimento da Agroindústria de Arroz a ser instalada na propriedade e na Vila de empregados que conta com 70 famílias.
- **Projeto:**
  - **Capacidade:** 500 Kw (5 turbinas de 100 Kw cada).
  - **Fornecedor:** VENTIS/Alemanha.
  - **Altura do eixo das turbinas:** 30 m.
  - **Ø das pás:** 20 m.
  - **Subsídio:** está tentando junto ao Programa Eldorado.
- **Outras Informações:**
  - Em negociação com a CEEE a conexão futura à Rede de Santa Vitória do Palmar (a rede que atende ao município não está conectada a nenhuma outra rede do restante do país).
  - A propriedade fica as margens da BR 471 que liga o Brasil a Montevidéu.
  - O município de Santa Vitória do Palmar planta 100.00 ha de arroz irrigado com uma produtividade média de 5.000 Kg/ha. A casca do arroz representa 20% do volume físico, que dariam um total de 100.000 ton.; podendo ser utilizada na produção de energia elétrica, através da geração térmica.

6.8. Instalação e Funcionamento de Cataventos

6.8.1. Catavento para Bombeamento D'Água

Esse tipo de catavento é muito usado em:

- Chácaras
- Sítios
- Fazendas
- Irrigação (de pequeno porte)
- Piscicultura
- Oxigenação e Renovação da Água

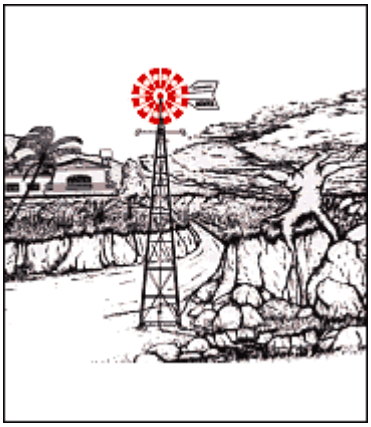
Instalação: Poços artesianos, semiartesianos, arroios, açudes e vertentes; Retiram água de até 100 metros de profundidade ou podem recalcar até 50 metros de altura.

Vazão: Pode variar até 5000 l/h de acordo com o modelo de catavento e o tipo de bomba a ser usado.

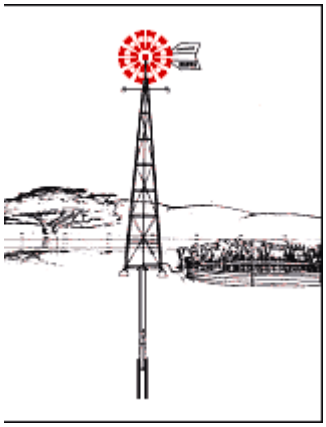
Bomba: 1 1/4", 2", 3", 4" e 6" polegadas de diâmetro.

Torre: Com 6, 9, 12, 15, 18, 21 e 24 metros de altura, com pintura fundo zarcão e acabamento alumínio e torres especiais galvanizadas a fogo para zonas marítimas.

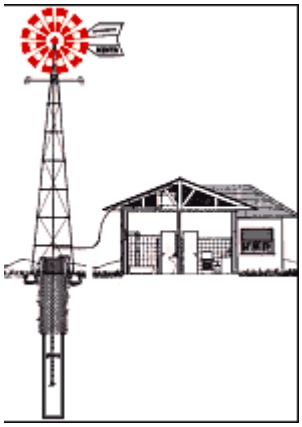
Sistema de Instalação



VERTENTES



POÇOS ARTESIANOS



POÇOS COMUNS

O CAVALO MECÂNCIO é uma inovação do fabricante, cuja a máquina apresenta-se com: duas engrenagens pequenas e duas grandes. Comando duplo de bielas em banho de óleo com regulagem de curso para regiões de ventos fracos.

Essa máquina possibilita que o catavento trabalhe com:

- Menor quantidade de vento
- Maior volume d´água por hora
- Maior profundidade do poço
- Maior curso do pistão até 26 cm
- Bomba de até 6"
- Vazão de até 120.000 litros por dia (24Hs)

Na Piscicultura o catavento é muito utilizado para oxigenação e renovação da água dos tanques

- As vantagens do **catavento:** é não poluir, ser decorativo e ecologicamente correto, além de bambear água de graça por muitos anos.

6.8.2. Catavento Gerador

O **Catavento Gerador** serve para carregar baterias (acumuladores) de 12 volts.

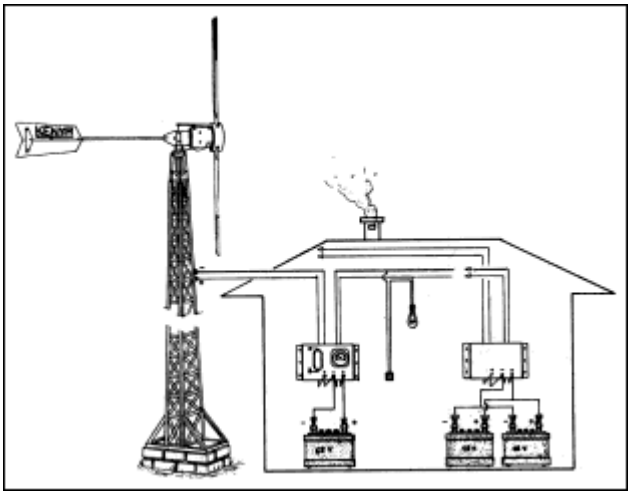
Além de fornecer luz em toda propriedade, poderá ligar televisores e outros eletrodomésticos que sejam acionados por baterias.

Fonte: Kenya

Produção do Catavento Gerador:

- 300 a 500 RPM 5 amp/hora
- 500 a 700 RPM 10 amp/hora
- 700 a 1.000 RPM 15 amp/hora

Esquema de instalação do Catavento Gerador com 2 tipos de ligação



À esquerda: uma bateria 12 Volts com capacidade de 150 Ampéres

À direita: duas baterias 12 Volts com capacidade de 300 Ampéres

Fios usados na instalação

Fio Nº 8: - do gerador até entrada da caixa de comando

- da caixa de comando até a bateria

Fio Nº 10: da caixa de comando para a instalação elétrica dentro de casa

Fio Nº 14: para ligação das lâmpadas de 12 (15 Watts).

Energia Solar

7. ENERGIA SOLAR

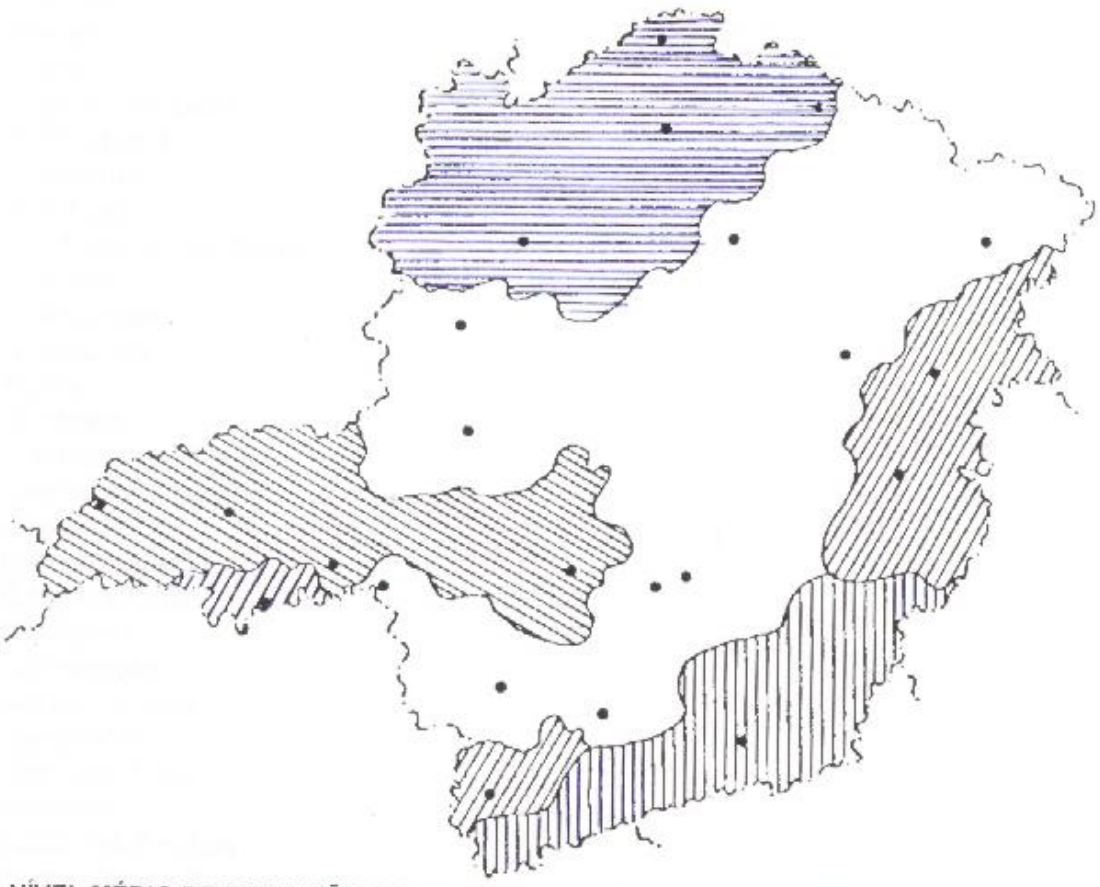
A principal fonte de energia da Terra é o Sol, que é responsável por mais de 99% do seu balanço energético. Da energia solar incidente decorrem os combustíveis fósseis e vegetais, a biomassa, as energias hidráulica e eólica etc.

O sol, como as demais estrelas, é extremamente quente. A temperatura em sua superfície é da ordem de 6.000 K e chega a aproximadamente 2×10^7 K na região central. A essa temperatura, a matéria solar não é mais constituída de átomos, mas de núcleos e elétrons separados, num estado chamado **plasma.** Nessas condições, não ocorrem mais reações químicas, como a combustão (portanto, é incorreto dizer que o Sol está se queimando), mas somente reações nucleares. Dessa maneira, a origem da energia solar são as reações nucleares.

Um dos principais problemas encontrados no aproveitamento da Energia Solar reside no desconhecimento da quantidade de energia disponível no local onde se deseja implantar algum dispositivo de captação.

A maioria das estações metereológicas, que possuem equipamentos de medida de Radiação Solar, fornecem dados de médias diárias e anuais. Dados das componentes diretas e difusa são raros e muitas vezes obtidos por técnicas não muito confiáveis. Isto dificulta enormemente um dimensionamento correto para a viabilização do uso de equipamentos de captação. O desconhecimento dos dados de radiação solar na forma de médias horárias, das componentes direta e difusa, tem sido outro entrave para a otimização de sistemas de captação solar. Normalmente o que se faz é utilizar dados das estações metereológicas, na maioria das vezes da radiação total, aplicando equações empíricas que foram desenvolvidas para países de latitudes Norte e que diferem totalmente em clima do nosso país. No Brasil, poucos centros de pesquisa em energia solar têm equipamentos que possibilitem medir as componentes direta e difusa da radiação total. Estes dados são imprescindíveis para a análise e balanço térmico dos dispositivos de captação. Na maioria das vezes estes dados são simulados, o que distancia muito a realização prática efetiva dos objetivos a serem atingidos para cada região. Haja visto que cada região de cada Estado tem suas necessidades específicas, suas próprias condições climáticas (bem diferentes) e de insolação.

Figura 01 – Radiação Solar Global no Estado de Minas



NÍVEL MÉDIO DE RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL NO PLANO HORIZONTAL (kWh/m²/dia)

= Até 4,0 kWh/m²/dia
= De 4,0 a 4,5 kWh/m²/dia
= De 4,5 a 5,0 kWh/m²/dia
= De 5,0 a 5,5 kWh/m²/dia
= Superior a 5,5 kWh/m²/dia

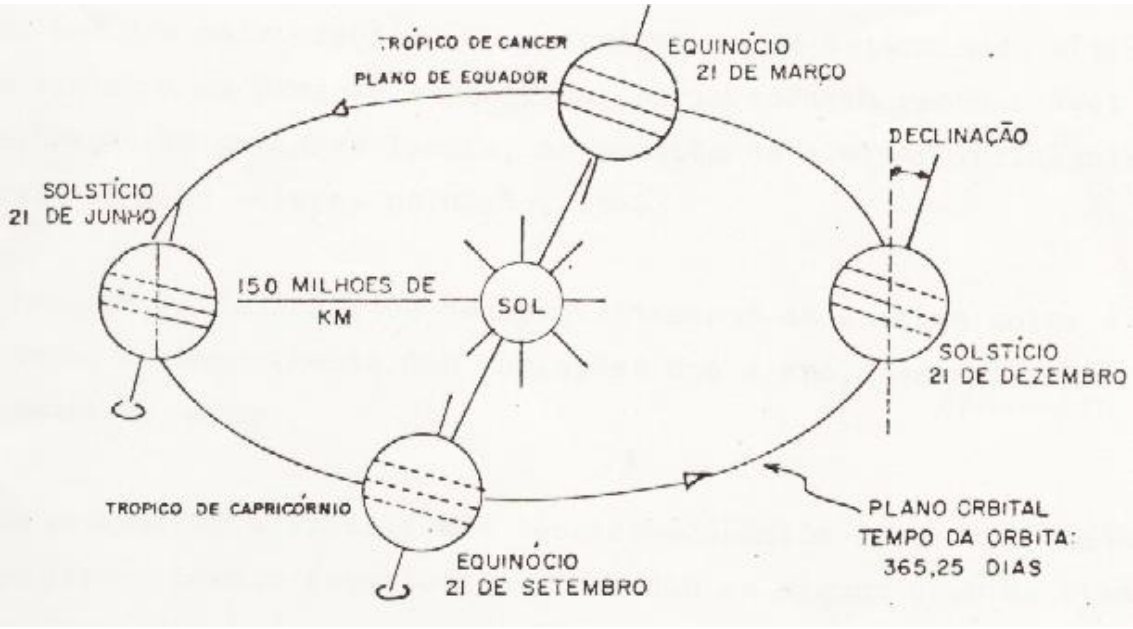
FONTE: DADOS DE MEDIÇÕES DA CEMIG

A energia solar constitui uma das fontes energéticas à disposição do produtor rural mais acessíveis e de utilização mais simples. Pode ser empregada nas mais diversas aplicações conforme será descrito a seguir. É uma energia renovável, limpa e amplamente difundida.

O sol constitui-se no grande fornecedor de energia para a terra. Cada metro quadrado de superfície perpendicular à direção de propagação da radiação, medida no limite da atmosfera da terra, recebe em média 1.353 W/m². A variação máxima de aproximadamente $\pm$ 1,7% na distância entre a terra e o sol, acarreta uma oscilação na constante solar da ordem de $\pm$ 3%.

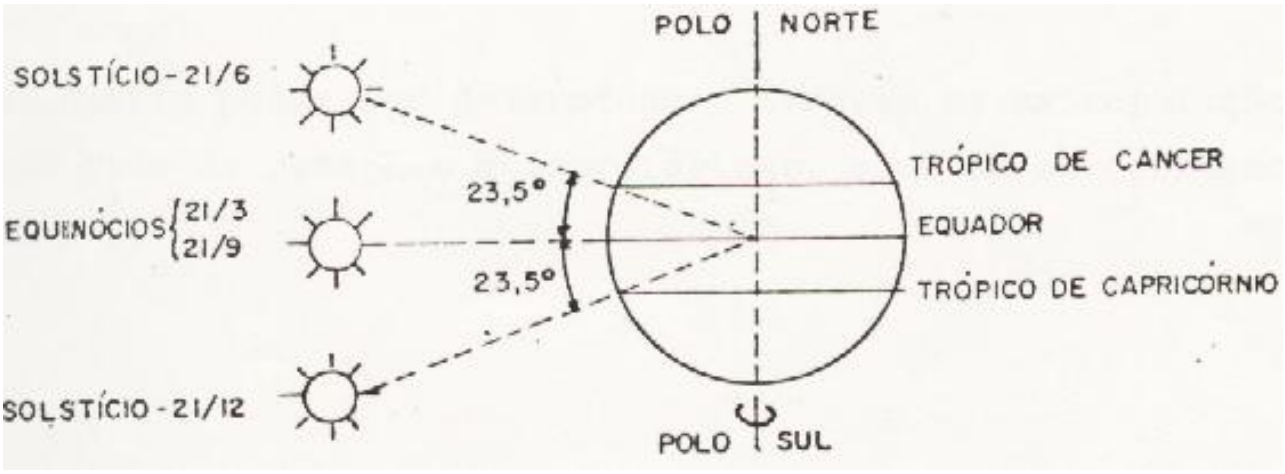
As variações sazonais dos níveis de radiação solar, em um plano horizontal na superfície da terra, devem-se principalmente à inclinação do seu eixo de rotação em relação ao plano da órbita em torno do sol.

Figura 02A – Movimento da Terra ao Redor do sol



A declinação solar (ângulo entre a linha terra-sol e o plano do equador), varia entre ± 23,47 graus, provocando as conhecidas variações na duração dos dias ao longo do ano (fig. 1B).

Figura 02B - Movimento Aparente do Sol Relativo a Terra



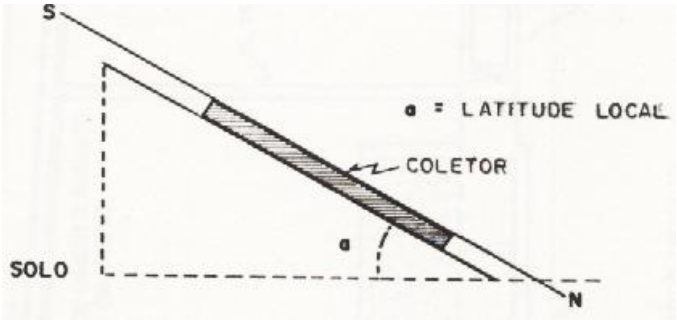
A radiação solar incidente no limite superior da atmosfera sofre uma série de reflexões, dispersões e absorções durante o percurso até o nível do solo.

A radiação global que atinge a superfície do solo possui uma componente direta e outra difusa resultante da dispersão por choque e reflexões na atmosfera.

7.1. O Coletor Plano de Energia Solar

O coletor solar descrito não exige nenhum dispositivo mecânico para mantê-lo perpendicular aos raios solares. Ele deve ser fixo e orientado na direção norte-sul, tendo a superfície absorvedora voltada para o norte. Outro ponto que deve ser observado é a inclinação da superfície absorvedora com a horizontal (nível do solo). Uma inclinação ótima para a variação anual deve ser igual ao valor da latitude do lugar.

Figura 03



Uma grande vantagem do coletor plano é que ele irá absorver a energia diretamente do sol, em forma de radiação direta e também a energia difusa (radiação refletida pela terra e pelas nuvens). Um coletor plano é capaz (dependendo do fluxo de ar) de elevar a temperatura do ar (em dias de céu aberto) até 30°C (uma diferença de temperatura de 10°C é considerada uma boa média). Além dos fatores supramencionados, o coletor plano de energia solar é de construção fácil e relativamente barato. Isso faz com que os coletores planos sejam a melhor escolha para a secagem de produtos agrícolas.

Atualmente, existem vários tipos de coletores planos, mas todos eles possuem duas características básicas:

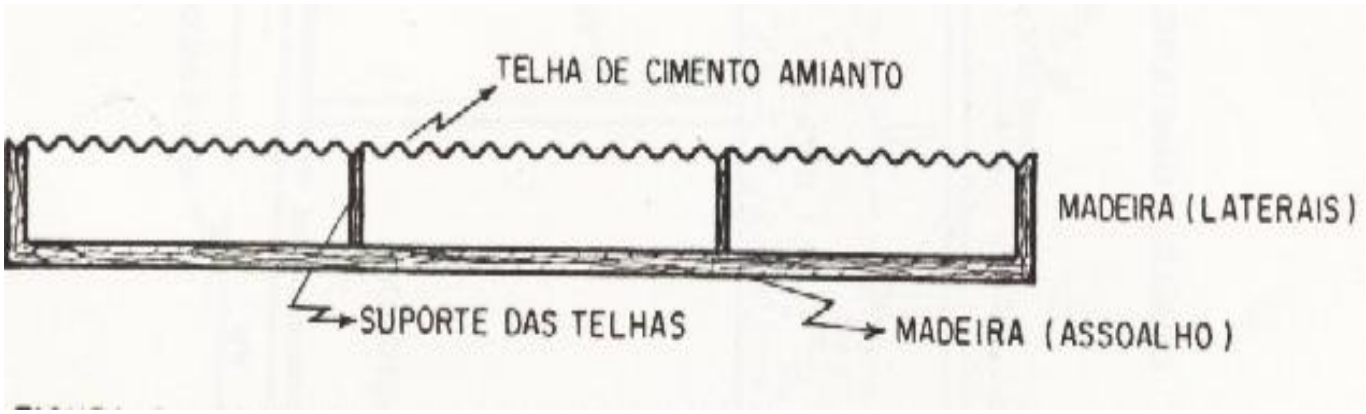
a) uma superfície negra para absorver a energia solar;

b) um fluido circulante (normalmente o ar ambiente) para tirar o calor da superfície absorvedora e levá-lo para o ponto de utilização (em nosso caso, o tanque que contém os grãos a serem secos). O secador solar rotativo é uma exceção do tipo acima citado, e será discutido mais adiante.

Um coletor de energia solar, tendo o ar como fluido circulante, pode ser constituído desde uma simples chapa de metal ou telha de cimento amianto pintado de preto, até elementos mais aprimorados.

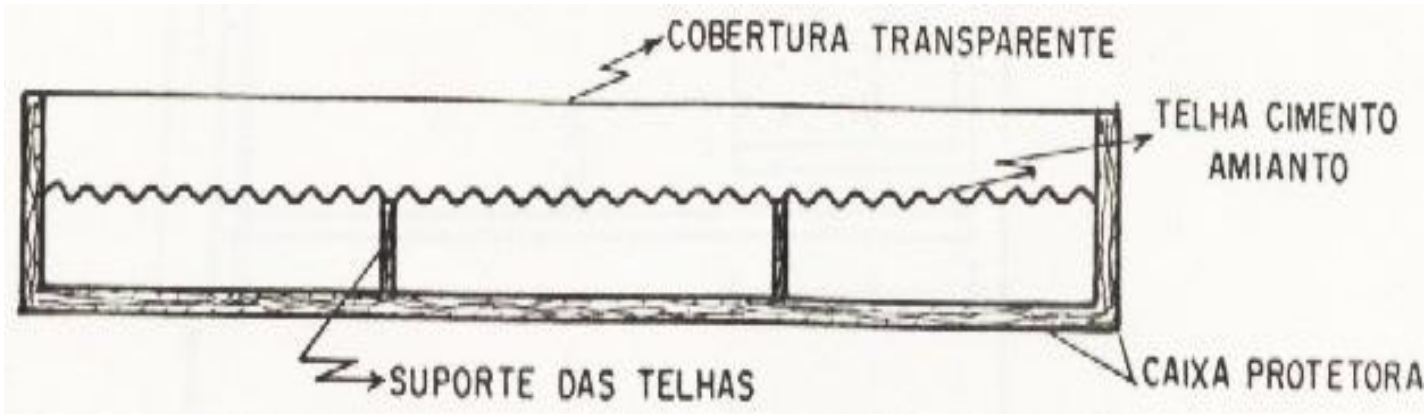
A chapa ou telha deverá formar um canal com a estrutura por onde deverá ser forçada a passagem do ar **(fig.04**).

Figura 04



Um segundo tipo possui ainda uma cobertura transparente sobre a chapa coletora com a finalidade de aumentar o rendimento total do sistema. Essa cobertura transparente pode ser de vidro ou mesmo um simples lençol de plástico transparente, com é o caso do coletor usado na UFV. A perda de calor da chapa coletora para o ambiente, por causa do efeito do vento sobre a chapa absorvedora, é minimizada por essa cobertura transparente **(fig.05).**

Figura 05

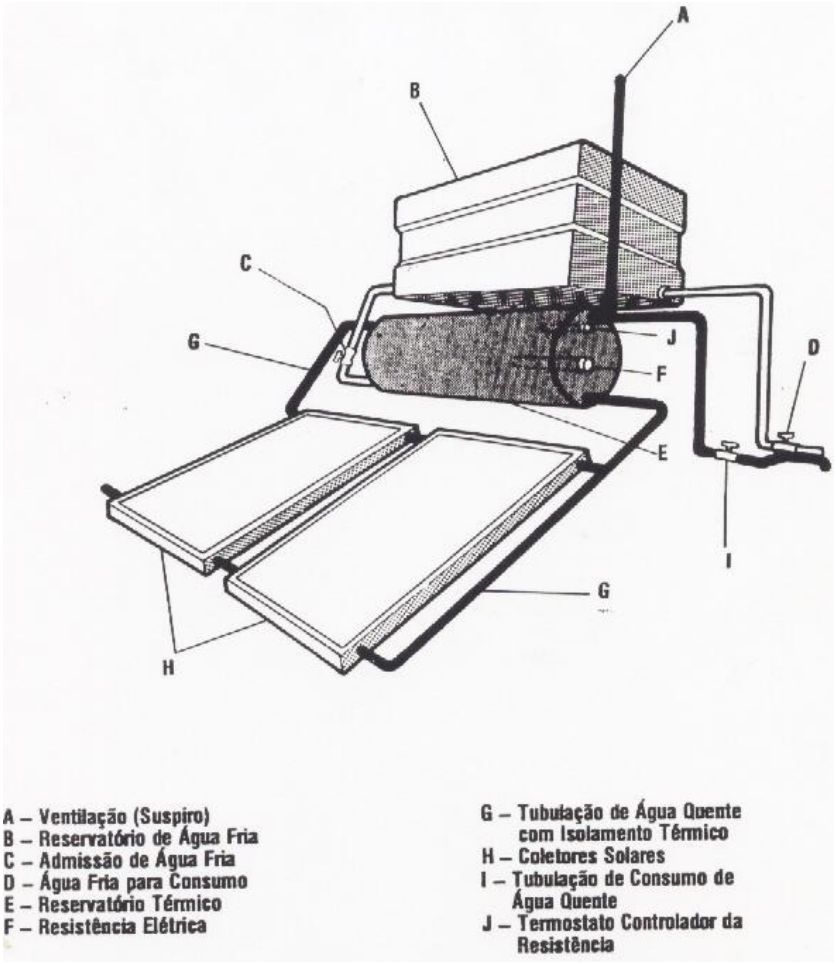


Existem diferentes maneiras de melhorar a eficiência de um coletor, entretanto, essa melhoria deve ser comparada com o investimento adicional. Usualmente, os coletores mais eficientes são também os mais caros.

7.1.1. Sistema de Aquecimento Solar

- O aquecedor solar compõe-se de um conjunto de coletores solares, um reservatório térmico, um sistema de circulação de água e um sistema auxiliar de aquecimento elétrico **(fig.06).**

Figura 06



7.1.2. Instalação de Sistemas de Aquecimento Solar de Água

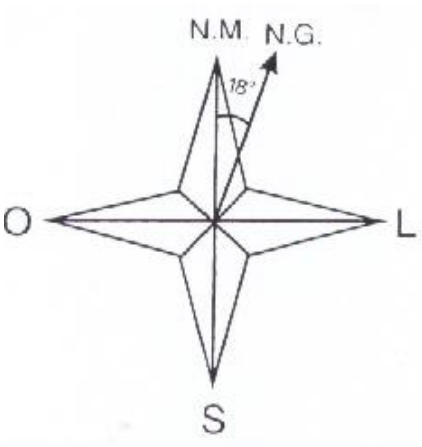
A instalação dos sistemas de aquecimento solar de água é extremamente importante, pois um bom equipamento pode ter seu funcionamento comprometido se esta for mal executada. Há detalhes técnicos que devem merecer especial atenção e devem ser feitos conforme orientação de pessoal competente, pois, muitas vezes, bombeiros ou práticos dificilmente terão condição de realizá-los corretamente.

Instalação dos Coletores Solares

a) Orientação

Os coletores podem ser montados no solo, sobre o telhado ou laje. A orientação indicada para os coletores é o norte geográfico, sendo que variações de até 15º tanto para Leste quanto para Oeste, são aceitáveis, pois não comprometem a eficiência do sistema.

O Norte geográfico ou verdadeiro pode ser determinado de duas maneiras práticas, conforme mostrado nas figuras seguintes.



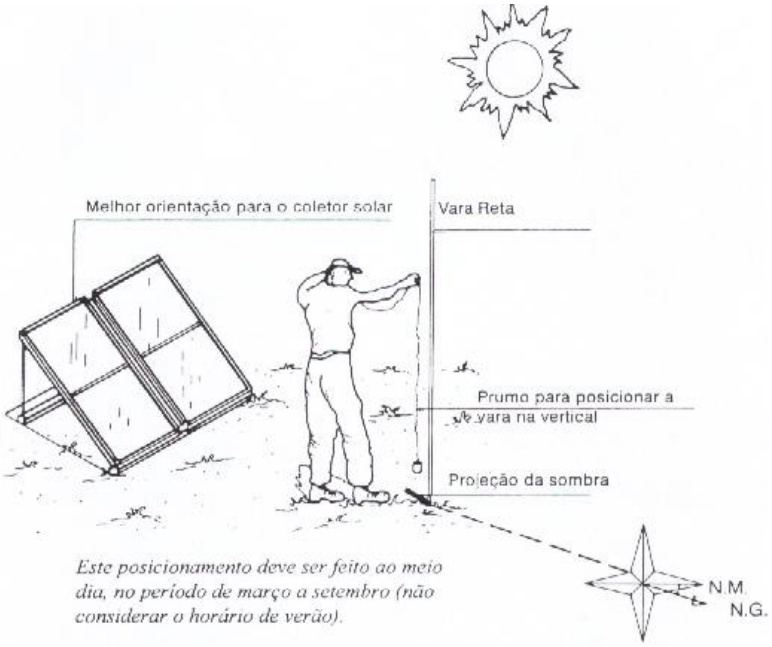

Melhor orientação para o coletor solar
Vara Reta
Prumo para posicionar a vara na vertical
Projeção da sombra
Este posicionamento deve ser feito ao meio dia, no período de março a setembro (não considerar o horário de verão).
N.M.
N.G.

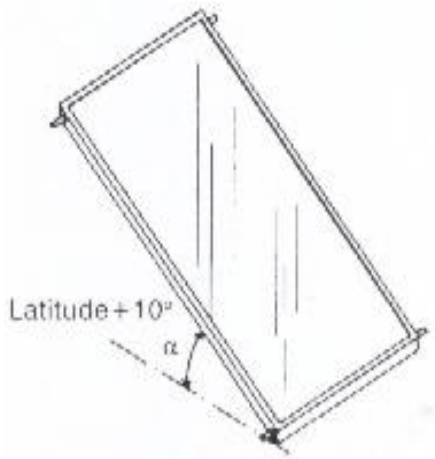
Figura 07-Norte geográfico através da bússola.

Figura 08-Norte geográfico através da vara e do prumo.

b) Inclinação

A inclinação ideal dos coletores em relação à horizontal deve ser aproximadamente igual à latitude mais 10º, ângulo médio para melhor aproveitamento da energia solar durante o ano, já que o coletor não pode se mover conforme inclinação dos raios solares. Os ângulos maiores proporcionarão melhor desempenho no inverno, mas diminuirão a economia média durante os outros períodos do ano.

Figura 09 – Inclinação do coletor solar



Para Belo Horizonte α = 30° - Ideal α = 25° - Melhor desempenho em janeiro, fevereiro, março, setembro, outubro e dezembro.
α = 35° - Melhor desempenho maio, junho e agosto

Nos sistemas de convecção livre (termossifão) a inclinação não deve ser inferior a 10º, independente da latitude.

c) Circulação Livre (Termossifão)

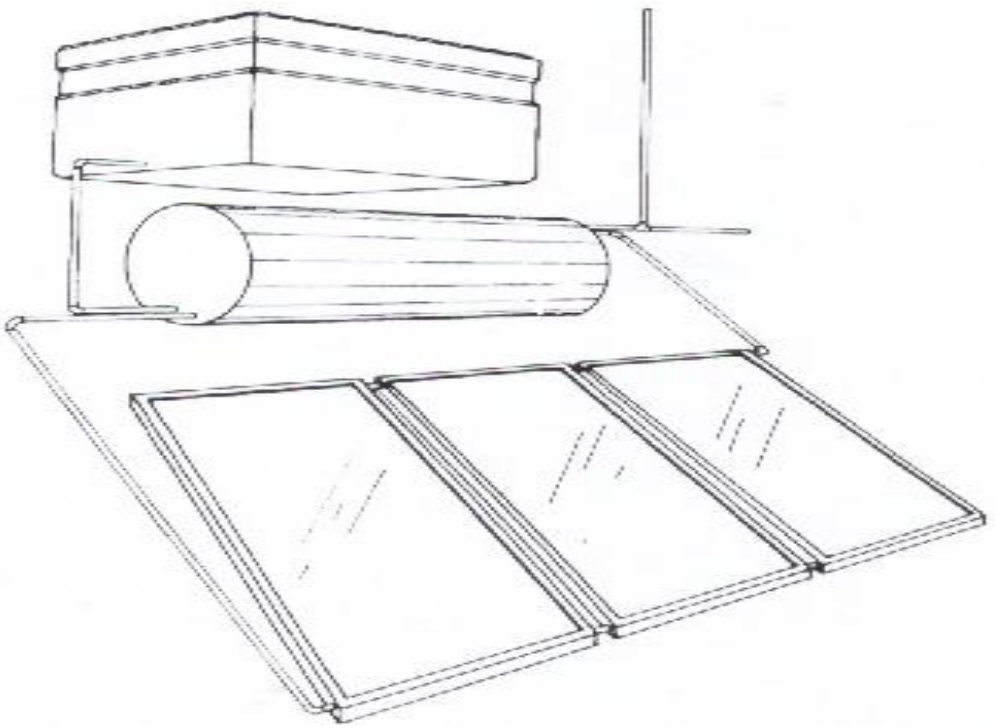
Alguns parâmetros básico devem ser levados em consideração para o bom funcionamento deste sistema.

- **Tubulação de Interligação**

Como é pequena a diferença de pressão criada pela variação da densidade da água, é importante que as perdas de carga sejam reduzidas, usando-se o mínimo de conexões (curvas, joelhos, etc.) que representam as perdas de carga localizadas, e que o reservatório térmico esteja o mais próximo possível dos coletores.

O isolamento desta interligação (reservatório e coletores) deve ser feito com bastante critério, pois existe um fluxo intenso de água quente dos coletores para o reservatório.

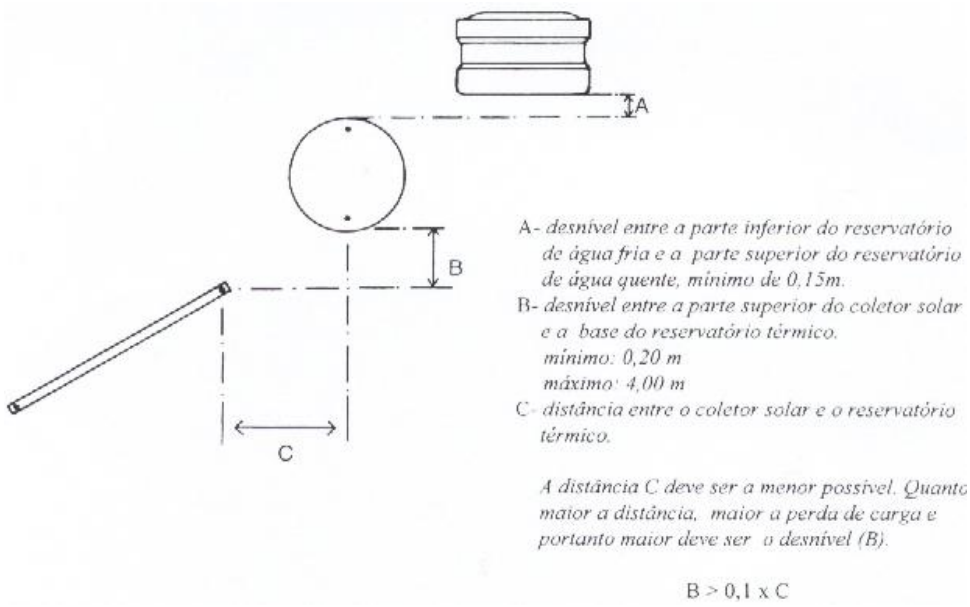
Figura 10- Interligação Coletor e Reservatório



- **Desnível entre os Elementos**

Os cálculos para fixar o desnível entre reservatório térmico e placa são complexos. Desta forma, deve-se utilizar como regra prática o que descreve a figura seguinte.

Figura 11 – Desnível entre coletor, reservatório térmico e reservatório de água fria.

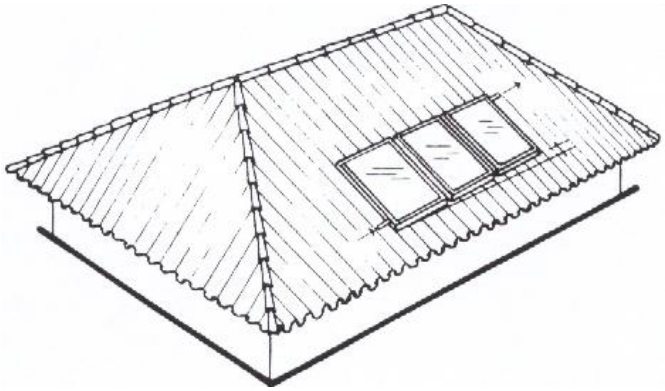

A
B
C
A- desnível entre a parte inferior do reservatório de água fria e a parte superior do reservatório de água quente, mínimo de 0,15m.
B- desnível entre a parte superior do coletor solar e a base do reservatório térmico.
mínimo: 0,20 m
máximo: 4,00 m
C- distância entre o coletor solar e o reservatório térmico.
A distância C deve ser a menor possível. Quanto maior a distância, maior a perda de carga e portanto maior deve ser o desnível (B).
B > 0,1 x C

- **Formação de Bolhas de Ar**

Para se evitar a formação de bolhas de ar dentro dos coletores e na tubulação de interligação, devem-se tomar algumas providências:

- o conjunto de coletores deve ser instalado com ligeira inclinação no sentido da saída de água quente. Esta inclinação deve ser de 1%, isto é, para cada 1 m de coletor deve-se incliná-lo em 1 cm. Tomando-se este cuidado, o caminho da água quente será facilitado e as bolhas, que porventura se formarem, sairão pelo lado mais alto da placa;

Figura 12 – Inclinação para evitar bolhas.



- a tubulação de interligação entre reservatório e coletores deve ser inclinada e não subir e descer criando trechos onde possa haver um acúmulo de ar, chegando até a interromper a circulação de água através da tubulação.

- **Caminho da Água nos Coletores**

Para melhorar o rendimento na captação da energia solar incidente, a saída de água nos coletores deve estar do lado oposto à entrada.

Figura 13 - Tubulação de saída e retorno do mesmo lado.

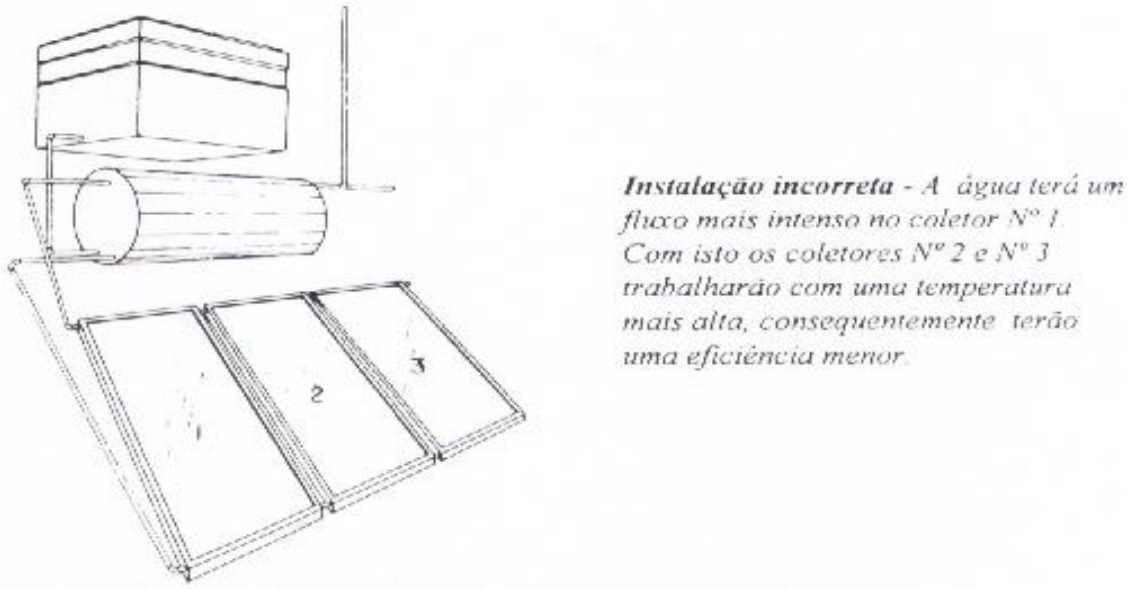
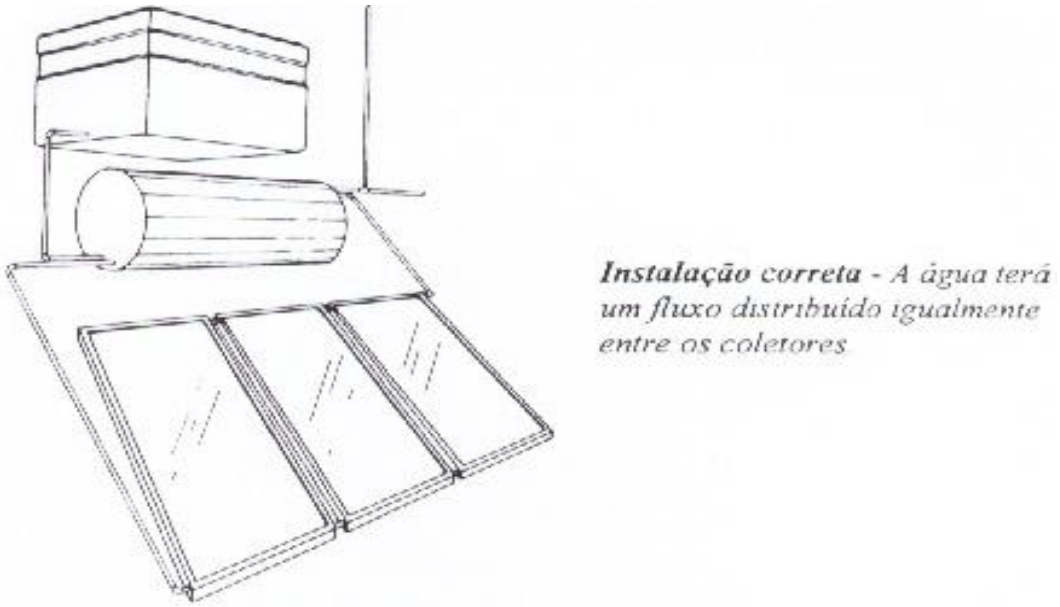
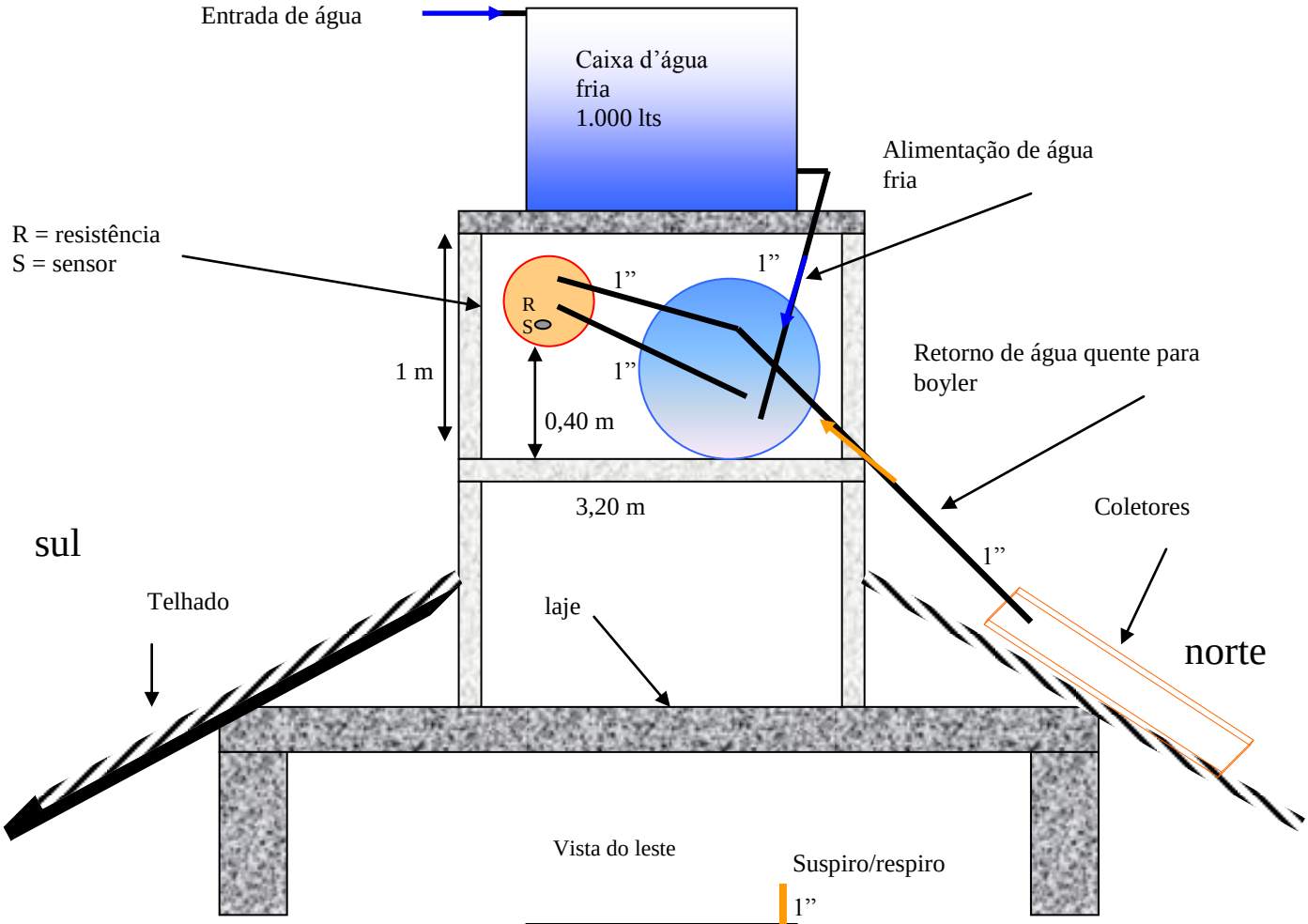
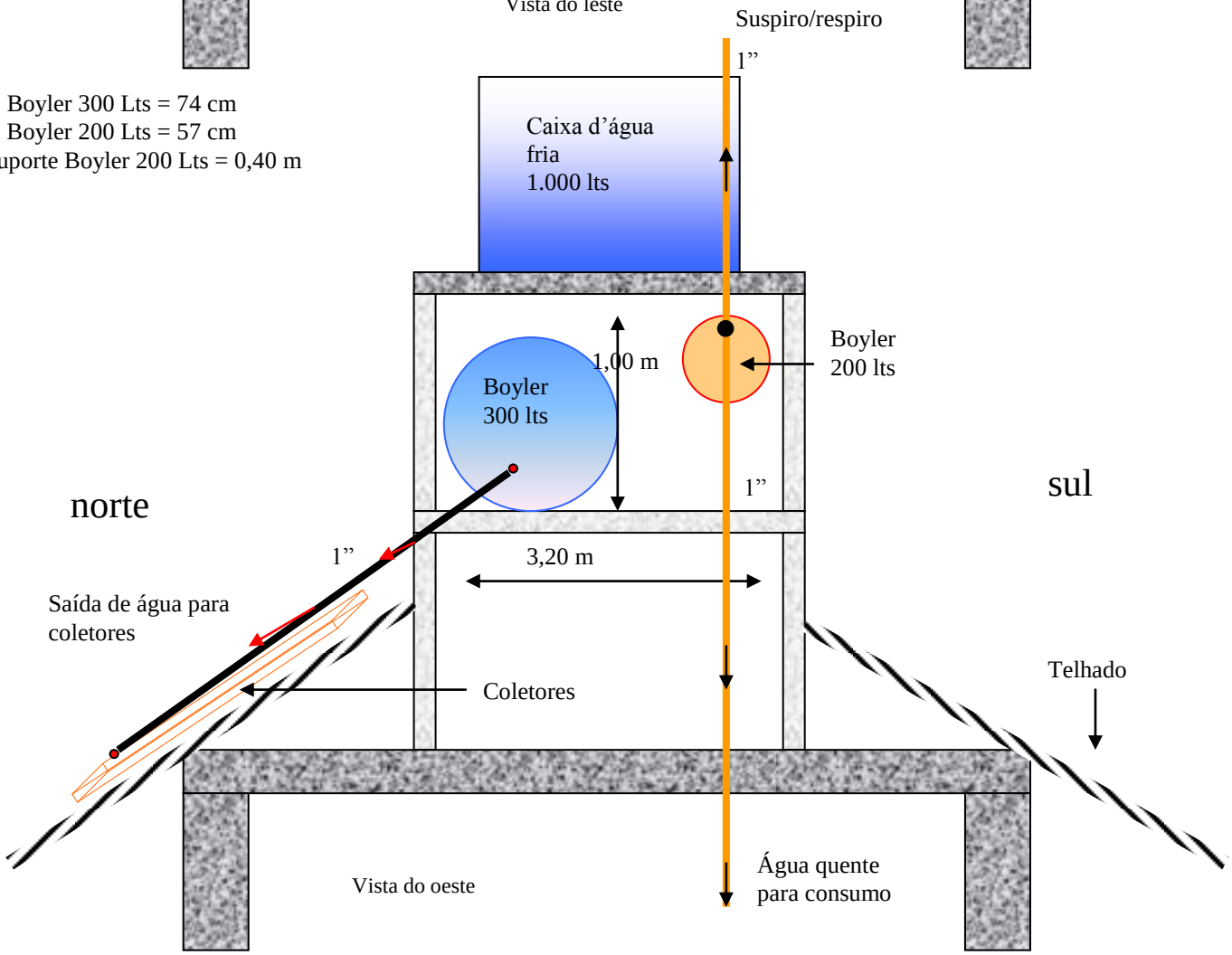

1
2
3
Instalação incorreta - A água terá um fluxo mais intenso no coletor Nº 1. Com isto os coletores Nº 2 e Nº 3 trabalharão com uma temperatura mais alta, consequentemente terão uma eficiência menor.

Figura 14 - Tubulação de saída e retorno de lados opostos.





Ø Boyler 300 Lts = 74 cm
Ø Boyler 200 Lts = 57 cm
Suporte Boyler 200 Lts = 0,40 m



7.1.3. Secagem com Energia Solar

A energia solar, devido características próprias, parece ser gratuita; no entanto, coletá-la, armazená-la e distribuí-la pode torná-la mais onerosa que qualquer outra forma de energia alternativa. A sua adoção para a secagem de produtos agrícolas, que é responsável pelo maior gasto da energia destinada ao processo de produção, (em alguns casos, superior a 50%), irá depender do suprimento e preço dos derivados de petróleo e de outras fontes convencionais de energia, bem como de outras formas não convencionais, como a lenha, resíduos agrícolas etc.

A utilização da energia solar dependerá do desenvolvimento de sistemas de secagem eficientes e econômicos. Nesse sentido, o campo de investigação é amplo e várias pesquisas específicas deverão ser desenvolvidas. Assim, por exemplo:

a) É necessária alguma forma de armazenar energia para a secagem?

b) Economicamente, pode-se armazenar a energia solar?

c) O coletor solar poderia ser utilizado para múltiplas finalidades, como para a secagem, aquecimento de água e de ambiente, refrigeração, etc?

d) Haveria maneira de viabilizar a aplicação da energia solar em sistemas de secagem a altas temperaturas?

e) Onde e sob que condições a energia solar poderia ser utilizada com economia e segurança, para a secagem a baixas temperaturas?

Em muitas regiões brasileiras, durante dias ensolarados, a grande maioria dos produtos agrícolas como milho, soja, sorgo, arroz etc, pode ser secado a teores de umidades seguros para a armazenagem (12 a 13%) com o uso do ar

sob condições naturais. Qualquer quantidade de calor adicionado ao ar de secagem reduz a umidade relativa e causa um super aquecimento no produto, principalmente, nas camadas inferiores do silo. Os grãos super secos podem ser reumedecidos com subseqüente ventilação durante dias com altas umidades relativas ou mesmo durante a noite. Entretanto, a secagem e reumedecimento alternados podem causar uma redução na qualidade do produto, como, por exemplo, o caso do arroz. Este problema pode, em muitos casos, ser solucionado pela adoção de dispositivos de revolvimento, com a finalidade de misturar grãos secos e úmidos, minimizando o gradiente de umidade.

Muitos métodos podem ser usados para armazenar a energia solar e entre eles, o mais simples é transferir o calor coletado para uma camada de pedras e usar o calor armazenado durante os períodos noturnos, quando a umidade relativa é alta. Obviamente, os sistemas que visam armazenamento de energia solar terão custos bastante elevados, e neste caso, é melhor usar a energia armazenada para aplicações mais nobres que a secagem de grãos. O uso múltiplo do sistema, com por exemplo em secagem, em aquecimento de ambiente, em refrigeração etc., pode ser uma opção para reduzir os custos. Entretanto, a adaptação de um sistema para secagem com as atividades acima selecionadas, além de difícil, poderá aumentar ainda mais os custos devido, principalmente, ao posicionamento de cada atividade dentro da propriedade agrícola.

Caso não seja necessário o armazenamento de energia, os coletores portáteis poderão ser uma boa opção para solucionar este problema.

Como dito anteriormente, cereais podem ser secados em silos com o uso de ar sobe condições naturais. A adaptação de um ventilador de maior vazão ao sistema trará mais sucesso que adicionar calor suplementar, com energia solar ou qualquer outra fonte de energia.

Nas regiões úmidas, o calor adicional é necessário para reduzir a umidade relativa do ar e permitir a secagem a teores de umidades adequados à armazenagem. Nessas áreas, o calor fornecido pela radiação solar poderá ser uma boa opção; sua aceitação poderá ser grande quando trabalhos de pesquisa indicar relativo sucesso na operação de secagem.

Concluindo, pode-se afirmar que com a atual tecnologia disponível, a energia solar para a secagem de grãos só se viabilizará caso haja uma drástica redução de suprimento, ou um aumento substancial no custo da energia proveniente de fontes convencionais.

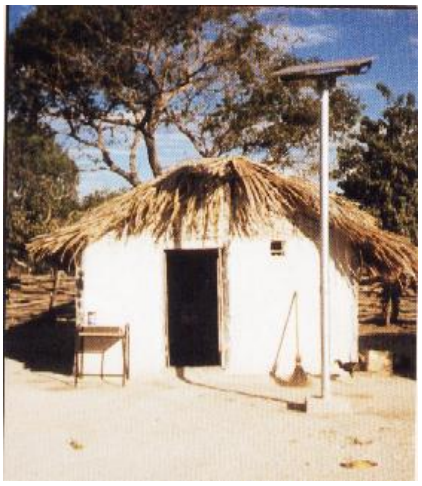
7.2. Células Fotovoltaicas

Uma outra maneira de aproveitar a energia solar é convertê-la diretamente em energia elétrica, utilizando as células fotovoltaicas. A **célula fotovoltaica** é feita de um material especial, chamado semicondutor, cujo comportamento elétrico está entre o de condutores metálicos e o de bons isolantes. Ao absorver luz, esse dispositivo produz uma pequena corrente elétrica, que pode ser aproveitada.

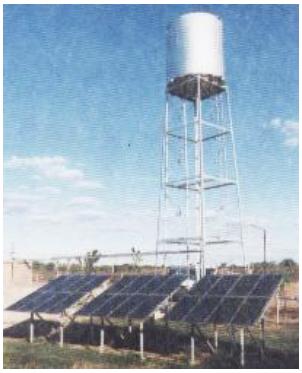
Os semicondutores feitos com silício (Si) são os mais usados na construção de células fotovoltaicas, e sua eficiência em converter a luz solar em eletricidade é cerca de 10%. Devido ao grau de pureza desses componentes, que são cristais, eles são muito difíceis de serem produzidos em grande quantidade e, conseqüentemente, tem custo elevado. Outros elementos utilizados para a construção de semicondutores são o arseneto de gálio (GaAs), sulfeto de cádmio (CdS) e o sulfeto de cobre (Cu_2S), com diferentes eficiências de conversão.

Minas Gerais possui aproximadamente 250.000 domicílios, localizados na área rural e não beneficiados pela eletricidade. Uma parcela significativa desses municípios situa-se em locais isolados e distantes da rede elétrica existente, tornando a eletrificação rural um empreendimento pouco rentável e que exige grandes investimentos em redes de distribuição para atender pequenas cargas. Nesses casos, a CEMIG considera a eletricidade solar fotovoltaica uma alternativa que pode atender com eficácia e menor custo as necessidades de seus consumidores mais distantes.

A integração social dessas comunidades tem nesse sistema de geração de energia um grande aliado, já que diversos domicílios podem ter acesso a eletricidade via sistemas fotovoltaicos.



Também escolas, postos de saúde, centros comunitários e sistemas de abastecimento de água coletivos podem perfeitamente serem atendidos com energia via esse sistema.



A potência produzida pelas células fotovoltaicas é dada por: $\mathbf{P = P_{inc}\ \eta\ ^{A}}$

Onde:

P inc: é a potência solar incidente.

η: a eficiência do dispositivo.

A: a área do coletor.

Exemplo: se a potência solar incidente for cerca de 800 W/m² e a eficiência de uma célula fotovoltaica for de 10% para produzir 1.000 MW de potência elétrica, qual deve ser a área total coberta por esses dispositivos?

$$\mathbf{A = P : P_{inc}\ \eta = 1.000 \times 10^{6}\ W : 800\ W/m^2 \times 0,1}$$

$$\mathbf{A = 12,5 \times 10^{6}\ m^2 = 12,5\ Km^2}$$

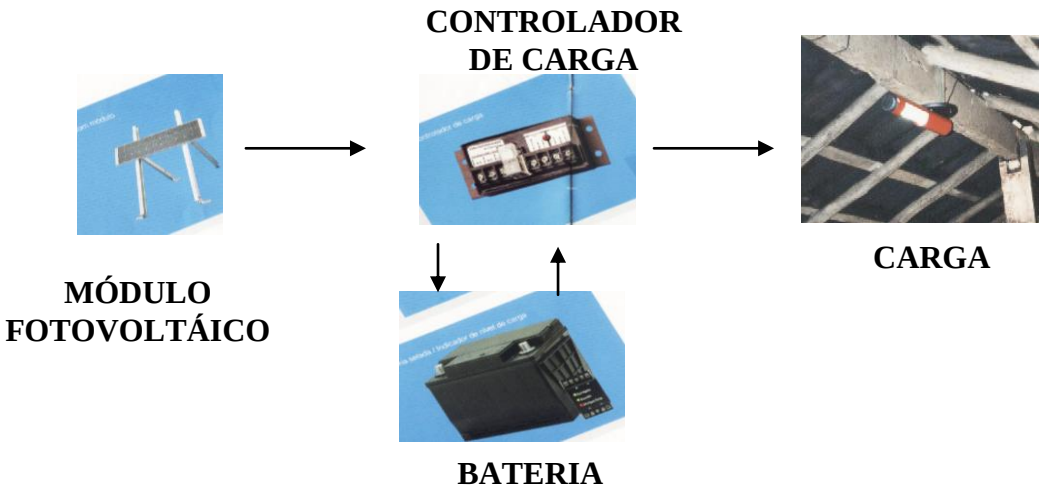
Isso significa que seria necessário um painel de aproximadamente 3x4 Km² coberto de células fotovoltaicas para gerar 1.000 MW de potência elétrica.

Devido ao elevado custo de fabricação e de manutenção, à tecnologia mais sofisticada e às grandes áreas necessárias para um aproveitamento em larga escala, a utilização das células fotovoltaicas para a produção de energia elétrica para consumo comercial, na maioria dos casos não oferece vantagem sobre outros métodos de conversão de energia. Uma situação onde seja economicamente vantajoso o uso de uma pequena usina solar elétrica é para o abastecimento de localidades muito afastadas, quando o custo para levar a eletricidade por redes de distribuição rural com pequeno número de consumidores não seja economicamente viável.

7.2.1. Sistema Fotovoltaico para Uso Doméstico

O sistema fotovoltaico para uso doméstico normalmente consiste dos seguintes componentes:

- um ou dois módulos fotovoltaicos com 50 Wp de potência cada um;
- estrutura para colocação dos módulos fotovoltaicos;
- controlador de carga 12V/4-10A;
- uma ou duas baterias de 12V/100 Ah;
- carga de 12 V corrente contínua (carga residencial = lâmpadas, rádio, televisor);
- materiais de instalação elétrica (condutores, interruptores, tomada, etc).



O número de módulos a ser utilizado dependerá da quantidade de energia elétrica a ser consumida e da insolação local. Para gerar uma corrente mais alta com tensão nominal da fonte (painel), conectam-se dois ou mais módulos em paralelo.

Um módulo fotovoltaico de 50 Wp é capaz de gerar aproximadamente 150 Wh de energia elétrica em dia normal de sol (5 kWh/m²d).

Para acumular esta energia, o módulo fotovoltaico deve estar conectado a uma bateria, a fim de assegurar a disponibilidade de energia durante a noite e em dias nublados. As baterias usadas em sistemas fotovoltaicos

normalmente são de vida útil elevada, com baixo nível de manutenção. Para cada módulo de 50 Wp recomenda-se instalar uma bateria de 12V/100 Ah, preferencialmente selada, que dispensa manutenção do nível de água.

Para que a bateria trabalhe o mais próximo possível do limite de sua vida útil, a energia elétrica gerada pelo módulo fotovoltaico e consumida pela carga deve ser regulada. Para isso, um controlador de carga é instalado entre o módulo fotovoltaico e a bateria. Se a bateria estiver complemente carregada, o regulador irá interromper ou diminuir a corrente do módulo fotovoltaico, para não sobrecarregar a bateria. Se depois de vários dias nublados, ou depois de um período de alto consumo de energia, a bateria se apresentar com baixo nível de carregamento, o regulador irá desconectar a carga para proteger a bateria contra descarrega total. Assim, o regulador estará protegendo a bateria e aumentando a sua vida útil.

A carga que pode ser instalada no sistema é a seguinte (carga residencial): lâmpadas 12Vcc de baixo consumo, rádio/gravador transistorizado , televisor com alimentação em 12Vcc. A disponibilidade da carga conectada depende do número dos módulos fotovoltaicos, da capacidade da bateria e do nível de insolação.

Para um dia normal com sol um sistema fotovoltaico pode, por exemplo, fornecer energia para o funcionamento das seguintes cargas:

Sistema com 1 Módulo Fotovoltaico				**Sistema com 2 Módulos Fotovoltaicos**			
1 Lâmpada	9W	(6 h/dia) =	54Wh	2 Lâmpada	9W	(6 h/dia) =	54Wh
2 Lâmpadas	9W	(2 h/dia) =	36Wh	2 Lâmpadas	9W	(2 h/dia) =	36Wh
1 Rádio	10W	(6 h/dia) =	60Wh	1 Rádio	10W	(6 h/dia) =	60Wh
-	-	-	-	1 Televisão	30W	(3 h/dia) =	90Wh
Consumo Diário			**~ 150Wh**	**Consumo Diário**			**~ 300Wh**

A simulação de carga acima serve apenas como exemplo. O que se deve observar é o limite máximo de consumo diário por sistema. Assim, são permitidas várias formas de utilização dos equipamentos, desde que o consumo não ultrapasse a aproximadamente 150Wh/dia para o caso de sistema simples (com 1 módulo), ou a aproximadamente 300Wh/dia para sistema duplo, valores estes iguais ao gerado pelos módulos fotovoltaicos.

7.2.1.1. Planejamento do Sistema Fotovoltaico

Para planejar o sistema fotovoltaico que atenderá a uma determinada carga deve-se seguir os seguintes passos:

1º Passo:	**Exemplo:**
a) determinar o que vamos usar.	6 lâmpadas de 9w, 3 horas por dia, todos os dias.
b) determinar em quantos dias da semana iremos utilizar.	1 TV pb de 12", 2 horas por dia todos os dias.
c) determinar quantas horas por dia iremos utilizar.	1 antena parabólica, 2 horas por dia todos os dias.

2º Passo:

Calcular consumos diários e semanais. Para isso preparamos uma tabela:

Coluna A = número de aparelhos.

Coluna B = consumo por hora em ampéres.

Coluna C = quantas horas são usadas por dia.

Coluna D = quantos dias por semana são usados.

Coluna E = total de consumo em ampéres por semana é igual A x B x C x D.

A	B	C		D		E
06 lâmpadas 9w	1A	3h	x	7	=	126Ah
01 TV pb	2,0A	2h	x	7	=	28Ah
01 antena parabólica	2,5A	2h	x	5	=	35Ah
TOTAL GERAL = 189Ah						

3º Passo:

Para sabermos quantas placas precisamos, dividimos o total do consumo em ampéres por semana, que no caso do exemplo é 189A por quanto gera uma placa por semana, então teremos como resultado.

Exemplo:

No caso acima temos consumo de 189AP semanal, se usarmos 2 placas SM 46 que gera cada uma 15Ah/dia ou (7 x 15 = 105Ah) semanal teremos 105 + 105AP = 210Ah semanal, ainda teremos uma sobra de 21Ah semanal.

Consumo de aparelhos elétricos

Apresentamos uma tabela de consumo de alguns aparelhos elétricos em 12 volts mais comuns, usados nas residências.

Com estes dados torna-se possível o cálculo de quantos painéis são necessários para utilizarmos os aparelhos que desejamos.

Aparelhos	Consumo
TV preto e branco 12” (12 volts)	2,00 Ah
TV colorida 14” (12 volts)	8,00 Ah
Rádio AM FM (12 volts)	1,50 Ah
Rádio receptor (12 volts)	2,00 Ah
Rádio transmissor (transmitido) (12 volts)	10,00 Ah
Rádio Standby (12 volts)	0,50 Ah
Rádio telefone Standbay (12 volts)	0,50 Ah

Rádio telefone (transmitido) (12 volts)	3,00 Ah
Rádio toca-fitas CD (12 volts)	3,00 Ah
Antena parabólica (12 volts)	2,50 Ah
Computador	8,00 Ah
Impressora	8,00 Ah
Batedeira	10,00 Ah
Liquidificador	25,00 Ah
Ventilador teto	4,00 Ah
Ventilador mesa	2,00 Ah

Consumo estimado em média (dependendo de cada marca).

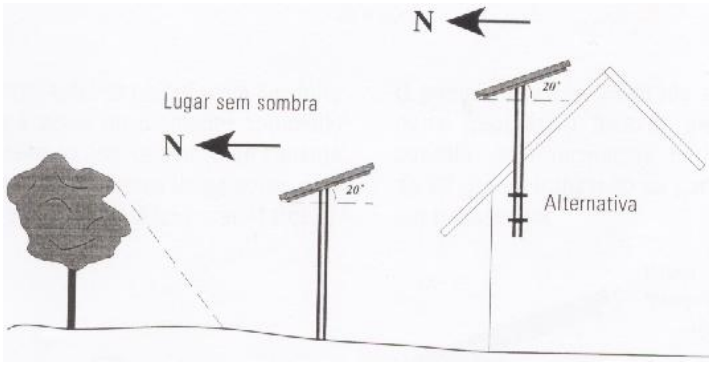
7.2.1.2. Instalação dos Módulos Fotovoltaicos

O módulo fotovoltaico deve ser instalado em lugar sem sombra, a uma altura de fácil acesso para limpeza e o mais próximo possível da residência.

O módulo tem que estar direcionado para o norte e ter uma inclinação de acordo com a latitude local (aproximadamente 20 graus, no Estado de Minas Gerais).

Recomenda-se colocar o módulo em um poste de metal (ferro galvanizado) perto da casa, a uma distância máxima de aproximadamente 15 m, ou, como alternativa, em cima do telhado.

O poste para colocação dos módulos deve ser de aproximadamente 3 metros de comprimento e 2,5 a 3,0 polegadas de diâmetro.

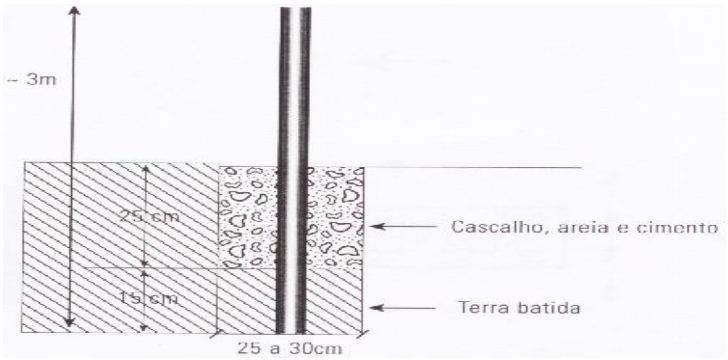


A instalação do módulo fotovoltaico em cima da casa requer que o mesmo seja chumbado com braçadeiras. No caso, deve-se observar se a parede da residência oferece condições necessárias a tal empreendimento.

A localização do módulo fotovoltaico deve ser a mais próxima possível da bateria, a fim de se evitar perdas elétricas e aumento de custo. Assim, recomenda-se fazer uma entrevista preliminar com o proprietário da residência,

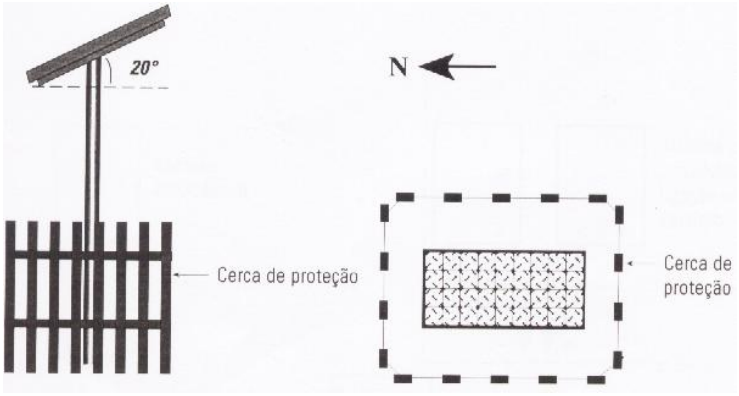
objetivando identificar os locais de instalação da bateria (de preferência no interior da residência) e dos módulos fotovoltaicos (local livre de sombra).

O desenho abaixo ilustra as dimensões da instalação. Recomenda-se soldar duas pequenas barras de ferro (chumbadores) na extremidade inferior do poste de sustentação do painel e adaptar um tampão na outra extremidade para evitar acúmulo de água de chuva.

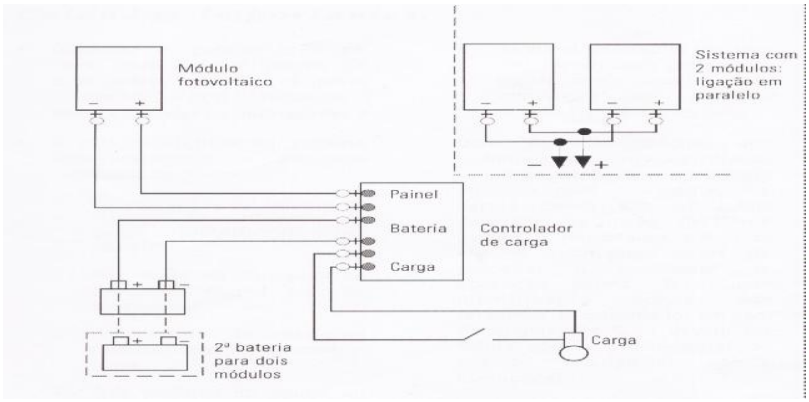


A instalação do painel deve ser feita com o poste devidamente aprumado e fixado ao solo (a massa de cimento demora pelo menos umas horas para adquirir consistência satisfatória). O painel deve ser orientado para o norte geográfico através de uma bússola, com inclinação horizontal de 20 graus, utilizando-se para isso um transferidor.

Para se evitar interferências de animais, os módulos devem ser protegidos por uma cerca de madeira, com espaço suficiente para execução das tarefas de limpeza e manutenção.



7.2.1.3. Conexões Elétricas do Sistema Fotovoltaico



A ligação entre o painel fotovoltaico e o controlador de carga deve ser feita através de condutor de cobre, de preferência tipo cordão paralelo flexível, de seção 4 mm² e até 10m de comprimento. Deve-se utilizar condutor de 6 mm² se a distância for maior que 10 metros. Entre o painel e a residência, recomenda-se passar o condutor sob o solo, opcionalmente através de eletroduto, a fim de se evitar interferências externas. A partir deste ponto (chegada a casa) sua instalação dever se aparente.

À distância entre o controlador e a bateria deve ser a menor possível e a ligação deve ser feita com o mesmo condutor utilizado acima.

A bateria não deve manter contato direto com o solo ou piso; ela deve ser instalada em uma caixa de proteção, de preferência de plástico. Na conexão elétrica, instalar primeiro o terminal negativo e depois o positivo. Uma vez instalado, cobri seus terminais com uma camada de graxa condutora ou vaselina industrial e, em seguida, isolá-lo com uma capa protetora, específica para baterias.

Cuidados Importantes:

- Observar a padronização de cores para a identificação de polaridades: vermelho ou preto (+) positivo; ou azul (-) negativo. **Nunca inverter as polaridades!**

- A ligação elétrica do sistema deve obedecer a seguinte seqüência de operação:

1. Pólo negativo da bateria ao terminal do controlador de carga identificado por “Bat(-)”.
2. Pólo negativo do painel ao terminal “Painel (-)” do controlador.
3. Pólo positivo da bateria ao terminal “Bat (+)” do controlador.
4. Pólo positivo do painel ao terminal “Painel (+)” do controlador.
5. Terminal do circuito residencial identificado preliminarmente como negativo pelo instalador ao terminal “Carga (-)” do controlador.
6. Terminal do circuito residencial identificado preliminarmente como positivo pelo instalador ao terminal “Carga (+)” do controlador.

Observações: as identificações dos terminais de um controlador variam de acordo com a simbologia adotada pelo fabricante. Em certos casos são utilizados desenhos ao invés da forma escrita. É importante, portanto, que o instalador, antes de proceder à seqüência de operação acima, faça uma identificação prévia dos terminais do controlador em uso. As etapas 5 e 6 só devem ser feitas com a chave geral do circuito residencial aberta (desligada).

- Todos os equipamentos devem ser instalados em locais livres de umidade (exceto o painel fotovoltaico) e arejados. O controlador de carga deve ser instalado ainda em local de fácil visão (deve ficar exposto), para inspeção freqüente.

7.2.1.4. Instalações Elétricas dentro da Casa

A instalação elétrica dentro da casa deve ser feita com cabos ou fios flexíveis de cobre, isolados, de 2,5mm² de diâmetro, preferencialmente aparente, o que dispensaria aberturas em paredes e uso de eletrodutos.

Pode-se usar interruptores comuns de 110V/16A CA.

As lâmpadas devem ser instaladas em locais apropriados, para permitir uma boa distribuição de luz. Recomenda-se ao usuário pintar as paredes e tetos da casa com cores claras para melhorar o nível de iluminação. Se possível, instalar luminárias que aumentem o nível de distribuição de luz através de refletores.

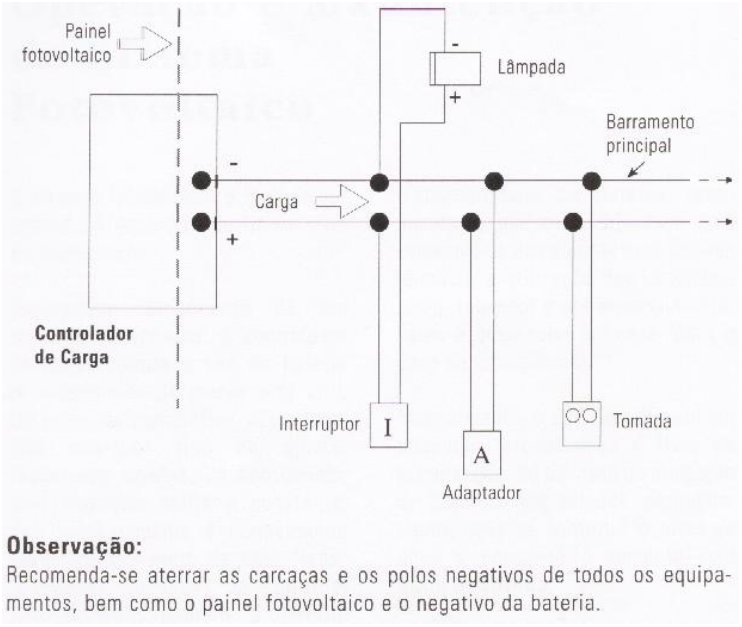
O adaptador de tensão para o rádio e a tomada para o televisor devem ser instalados em lugar seco, livre de umidade, seguro e definitivo.

A caixa da bateria e o controlador de carga devem ser instalados em lugar seco e seguro (protegido da interferência de crianças e animais).

O circuito elétrico dentro da casa deve ser feito de tal maneira que se utilize a menor quantidade possível de cabos e fios, bem como o menor número de conexões, a fim de se minimizar perdas elétricas e custos de instalação.

Recomenda-se instalar primeiro o barramento principal, situado entre o controlador de carga e a carga mais distante (lâmpada, por exemplo), cujos locais devem ser determinados com antecedência; a partir daí, derivam-se os demais circuitos. Um disjuntor de 10A deve ser instalado no início do barramento principal, o qual desempenhará o papel de chave seccionadora para manutenção do circuito residencial. Deve-se ainda instalar um fusível de ação rápida de 10A entre o disjuntor e o controlador de carga, caso este não venha equipado com tal proteção. Terminada a instalação, proceder às etapas de **números 5 e 6 descritas na página 65**, tomando-se o cuidado de posicionar, antecipadamente, o contato do disjuntor na posição aberta (“OFF”).

O responsável pela montagem e instalação do sistema deverá ainda testar todos os equipamentos na presença de seus usuários e orientá-los quanto ao funcionamento e melhor uso dos mesmos.



7.2.1.5. Operação e Manutenção do Sistema Fotovoltaico

O sistema fotovoltaico é fácil de ser operado e necessita de baixo nível de manutenção.

Importante componente de um sistema fotovoltaico, o controlador de carga otimiza o uso da bateria (o componente de menor vida útil). De operação automática, não necessita qualquer tipo de ajuste, requerendo apenas, do consumidor, uma inspeção diária e constante. Seu funcionamento é normalmente verificado por meio de dois **"leds"** (pequenas lâmpadas de controle)sinalizadores: quando a bateria estiver sendo carregada, um **"led"** verde ficará aceso até que a mesma esteja totalmente carregada. Neste instante, o **"led"** permanecerá piscando (aceso de modo intermitente). Se um **"led"** vermelho acender significa que a bateria está com baixo nível de tensão e a carga desligada. Isso pode acontecer depois de dias nublados, se a bateria não puder ser recarregada neste período. Neste caso, deve-se esperar até que o tempo permita o recarregamento da bateria; então o sistema se´r automaticamente religado.

Para evitar baixo nível de carga na bateria durante épocas de baixo nível de insolação e para aumentar a disponibilidade do sistema, recomenda-se que o usuário faça uma economia de uso durante esse período (diminuir a utilização das lâmpadas, rádio, televisor e até mesmo manter velas e querosene em casa, para o caso de emergência).

Normalmente, a bateria utilizada em sistemas fotovoltaicos é livre de manutenção. Só em caso da utilização de baterias não seladas, periodicamente deve-se controlar o nível de água e completá-lo somente com **água destilada.**

A parte transparente do módulo fotovoltaico deve ser limpa periodicamente. A limpeza se faz com um pano bem úmido. Depois deve-se secar a janela do módulo fotovoltaico, para que não enferruje.

"Não conectar cargas diretamente à bateria! Deve-se passar sempre pelo controlador de carga. Não conectar outras cargas senão aquelas especificadas para o sistema fotovoltaico."

Se houver algum problema, contacte o técnico indicado pela CEMIG.

7.2.1.6. Reparos dos Componentes do Sistema Fotovoltaico

Se a instalação elétrica da casa apresentar algum problema, o fusível do controlador poderá romper. Neste caso, deve-se revisar a instalação, as lâmpadas e as outras cargas, e em seguida, substituí-lo por outro.

Se o novo fusível também romper, deve-se verificar novamente os cabos, conexões e cargas para identificar o problema.

Se mesmo assim o sistema não funcionar, deve-se verificar os cabos e as conexões existentes entre os painéis fotovoltaicos e o controlador, bem como do controlador à bateria e à carga.

Se tudo estiver em ordem, desconectar a bateria e medir sua tensão. Desconectar também o painel fotovoltaico do controlador e medir sua tensão e a corrente em curto circuito. Os valores de tensão e de corrente devem se situar dentro do limite especificado pelo fabricante (o valor de corrente para dois painéis deve, portanto, ser o dobro do valor especificado para um painel), ao meio-dia, com sol e sem nuvens. Se for necessário, efetuar a troca do painel.

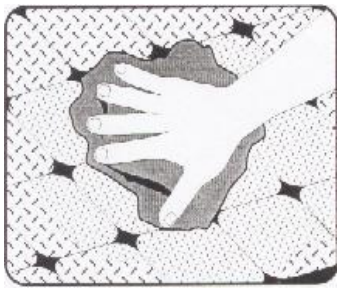
Se a bateria tiver tensão maior que 12V e o sistema não funcionar, deve-se substituir o controlador de carga.

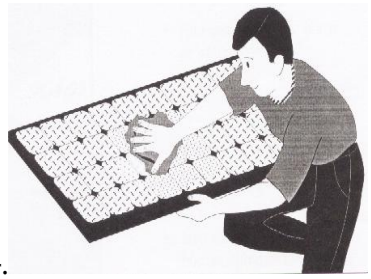
Se a bateria apresentar tensão abaixo de 12V, medir a corrente que sai do painel e a que entra na bateria sem conectar carga (por segurança, desligue a chave geral do circuito interno da casa). Se a diferença for muito grande, trocar o controlador de carga e medir novamente. As correntes devem ser quase iguais. Caso contrário, verificar o tempo de utilização da bateria: se for acima de 3 anos, trocá-la por uma nova com as mesmas especificações.

Se uma luminária não funcionar, providenciar sua troca.

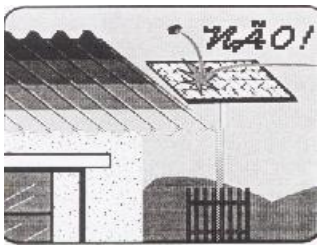
A seguir são apresentadas algumas recomendações importantes e de fácil implantação, a fim de se obter um funcionamento satisfatório em qualidade e durabilidade de todo o sistema fotovoltaico.

Manutenção do Módulo Fotovoltaico



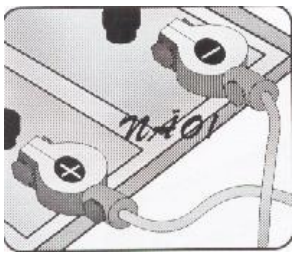


- Limpar com pano macio e úmido e depois secar.



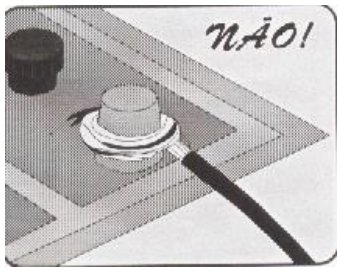
- O painel poderá ser danificado se atingido por pedras ou outros objetos.

Manutenção da Bateria



- Não inverter as ligações dos cabos.

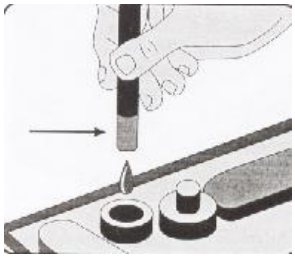
– Não fechar contato entre os pólos.



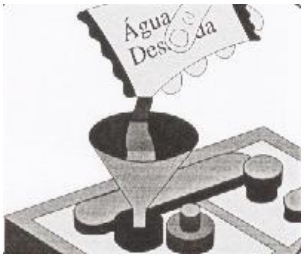
– Não conectar cabos sem bornes apropriados. Não conectar cargas diretamente à bateria.

- Não carregar outras baterias

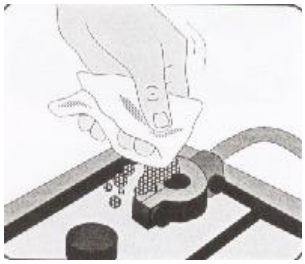
Caso você tenha Bateria não Selada



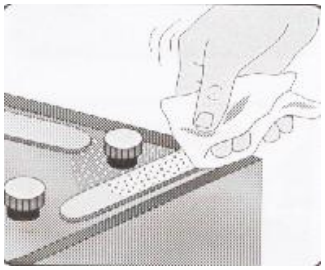
- Verificar o nível do líquido a cada mês.



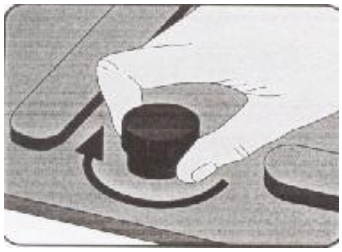
– Completar o nível somente com água destilada.



- Limpar sempre os pólos caso haja sulfatação, afrouxar os terminais e limpar os contatos, recolocando-os em seguida.



- Manter a bateria sempre limpa.



– Ajustar bem as tampas.

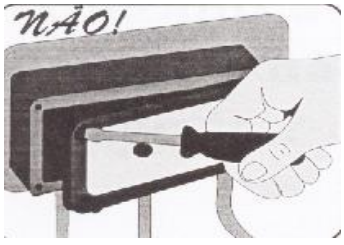
– Cuidado com os olhos! Lavar bem as mãos após manusear baterias.

- Não colocar água comum na bateria.

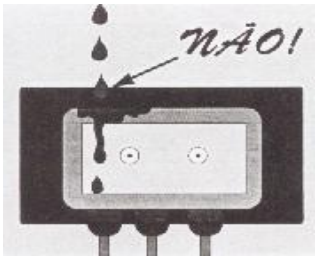
- Não acrescentar água mais que o necessário.

- Não tocar as mão no liquido da bateria. Liquido corrosivo e tóxico!

Manutenção do Controlador



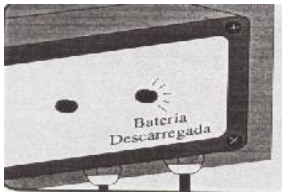
- Não abrir e manipular o controlador.



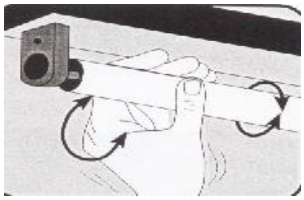
- Não deixar água cair no Controlador.

- Não permitir que mexam nos cabos.

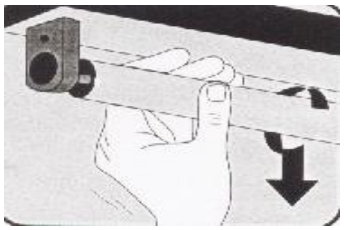
O que fazer quando a lâmpada não acende?



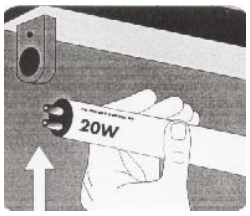
- Primeiro veja o controlador . Se a luz estiver acesa, siga as instruções no item (“Quando nenhum equipamento funciona”). Se não faça como se segue.



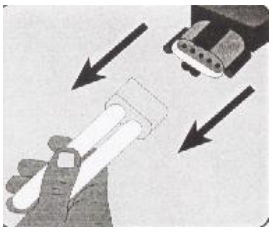
-Force um pouco o tubo da lâmpada para fazer melhor contato



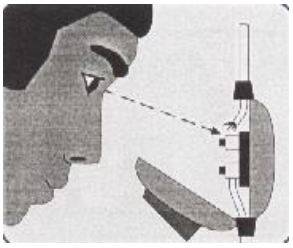
- Se todavia não acender, substitua o tubo por um novo.Para retirar o tubo, primeiro gire até que fique solto; depois retire-o



- Coloque um tubo novo com a mesma potência da lâmpada anterior.

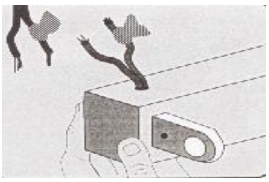


- Se sua lâmpada for do tipo compacta,não é necessária girar o tubo para retirá-la.

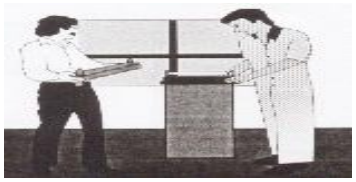


- Veja se o interruptor está limpo por dentro e se os cabos estão bem ajustados. OBS: Para executar esse passo,desligue antes a chave geral.

- Se após seguir o recomendado o problema persistir,deixe o interruptor da lâmpada na posição “desligado” e desligue a chave geral.

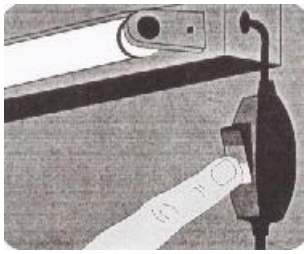


- Desconecte a lâmpada e leve-a ao técnico.Tenha antes o cuidado de identificar os pólos para que não sejam invertidos na sua reinstalação.Não deixe que as pontas dos fios se toquem.Religue a chave geral.



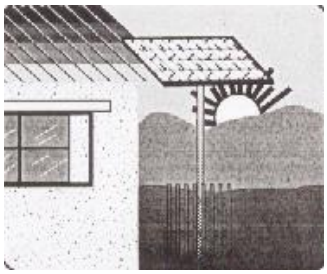
- Se o tubo queimar em menos de três meses,leve a lâmpada ao técnico (não esqueça de marcar os pólos. “Quando reinstalar a luminária desligue antes seu interruptor e a chave geral.

O que fazer quando nenhum equipamento funciona?



- Primeiro veja o controlador.Se a luz estiver acesa, apague todos os aparelhos.

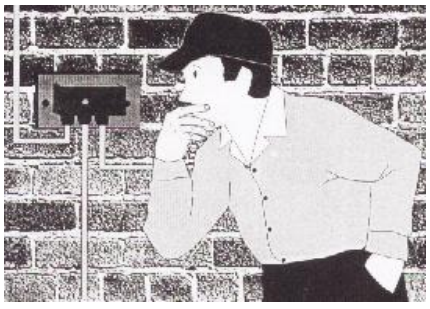
- Desligue todos os interruptores.Espere até o dia seguinte.



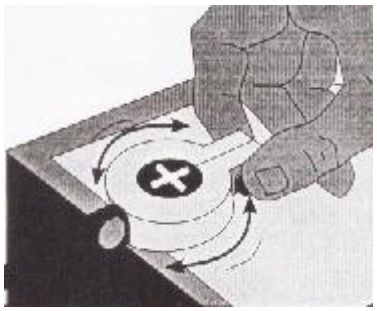
- O sol começará a carregar novamente a bateria. Use o sistema somente duas horas no primeiro dia,duas no segundo e duas no terceiro. A partir do quarto dia, seu sistema poderá ser usado normalmente.

- Se no dia seguinte o seu sistema não funcionar, revise as conexões dos cabos que estejam á vista.Se não encontrar nenhum problema nos cabos, chame o técnico.

O que fazer quando a luz do regulador acende todas as noites?



- Tenha o cuidado de desligar os aparelhos quando não estiverem sendo utilizados.



- Certifique-se de que os bornes da bateria estejam limpos e bem ajustados.

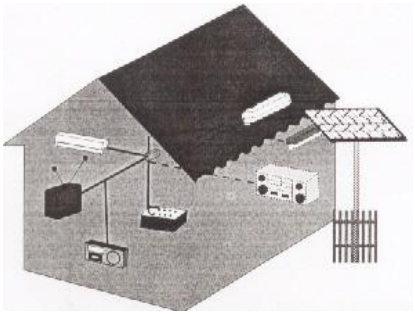
- Verifique se o painel está sob Sombra.

O que fazer quando a luz do controlador acende todas as noites?

- Verifique se o painel está sujo. Se estiver , limpe-o

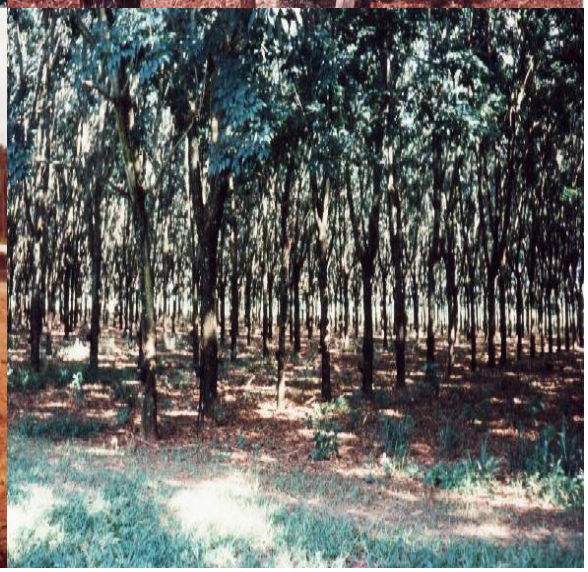
- Se nenhum dos procedimentos der resultado, chame o técnico responsável.

Pensando no Futuro



- ***Se estiver pensando em conectar mais aparelhos ao seu sistema, é possível ampliá-lo com outro painel.***

Energia da Biomassa



8. ENERGIA DA BIOMASSA

Cerca de 0,2% da energia solar incidente sobre a terra é utilizada no processo biológico da fotossíntese, no qual a energia luminosa é convertida (eficiência da ordem de 3% a 5%) e armazenada na foram de energia bioquímica, representada pela série de reações:

$6\ CO_2 + 6\ H_2O + \text{radiação solar} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$

$_n\ C_6H_{12}O_6 \rightarrow [H - (C_6H_{10}O_5)_n - OH] + (_n - 1)H_2O$

onde $C_6H_{12}O_6$ é a glicose e $H - (C_6H_{10}O_5)_n - OH$ pode ser celulose, amida ou carboidrato.

Esse processo é responsável pela formação da biomassa – que consiste em animais e plantas, e também de combustíveis fosseis.

A biomassa constitui uma fonte de energia renovável que pode ser aproveitada de muitas maneiras: como alimento (carnes, frutas, peixes, legumes etc..); como combustível direto (lenha, casca de babaçu, bagaço de cana etc..); como produtor do gás metano (a partir de resíduos orgânicos); dos óleos vegetais (da mamona, de soja, de dendê); dos álcoois etílico e metílico (a partir da madeira, da cana-de-açúcar, do sorgo sacarino, da mandioca etc..), esses dois últimos para substituir os óleos combustíveis e diesel e a gasolina, respectivamente.

Além da fotossíntese, existem a inda as conversões fotoquímicas, como por exemplo, a fotodissociação da água por algas, que poderá vir a ser a, longo prazo, uma maneira de obter hidrogênio como combustível.

Materiais orgânicos secos, como madeira e alguns tipos e detritos urbanos, podem se degradados por aquecimento na ausência de oxigênio. Esse processo é denominado pirólise. Os produtos dessa reação, para temperaturas acima de 500ºC, são uma mistura de gases combustíveis, óleo de baixa qualidade e uma espécie de carvão.

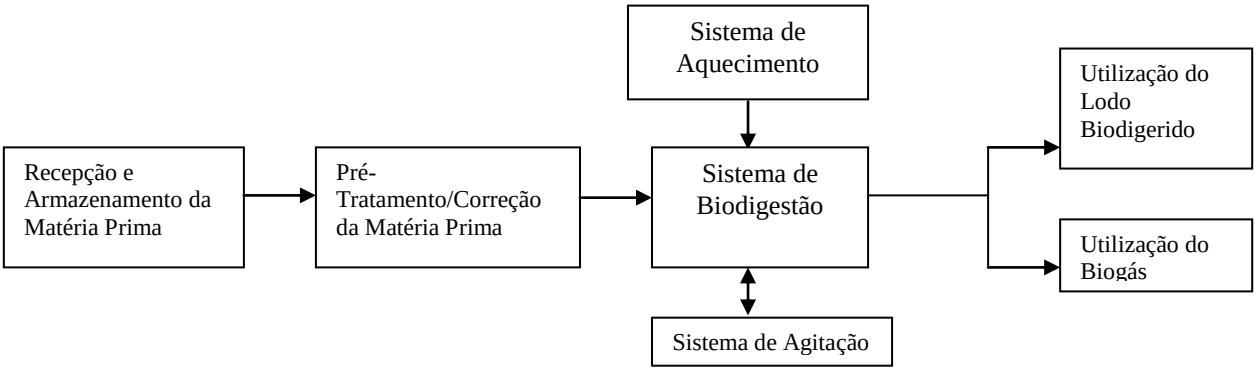
Os processos citados são alguns exemplos entre os muitos de conversão da energia solar armazenada na biomassa em alimentos ou combustíveis. Existem outros que envolvem ainda reações catalíticas, reduções químicas etc.

8.1. Biodigestão

Biodigestão é o processo anaeróbico de transformação de matéria orgânica (esterco, esgoto, vinhoto, etc.) em biogás, durante o qual há eliminação de grande parte de microorganismos patogênicos, diminuindo consideravelmente o potencial poluidor do resíduo submetido a esse processo.

Resíduos urbanos, agropecuários e industriais se constituem em fontes renováveis de energia, podendo produzir energia ao serem tratados.

8.1.1. Etapas do Processo



- **Recepção/Armazenamento:** a recepção/armazenamento do resíduo deve estar localizada próxima do sistema de biodigestão, e a capacidade deste local de armazenamento leva em conta a não interrupção do suprimento, de modo a garantir o bom funcionamento do sistema de biodigestão.

- **Pré-tratamento:** nesta etapa o resíduo é submetido a diversos tratamentos.

  - Recebe adição de sais (N, K, P), que propiciam maior rapidez do processo, pois contribuem para a proliferação da colônia de bactérias.

  - Para o caso de resíduos sólidos (estrume bovino/suíno) em área rural, estes são diluídos em água numa taxa de 1:1, o que contribui para a maior rapidez do processo e qualidade do biogás (maior percentual de metano).

  - Equalização do PH (acidez), que deve ser neutro.

  - Em caso de resíduos provenientes de diferentes processos, estes são misturados de forma a homogeneizar o resíduo em termos de Demanda Química de Oxigênio – DQO, o que propicia maior eficiência do sistema.

- **Sistema de Biodigestão:** o resíduo é biodigerido resultando na produção de biogás.

- **Aquecimento:** o processo de biodigestão apresenta duas faixas de temperatura em que o processo ocorre com maior velocidade, que são:

  - Faixa Termofílica: 55 60 ºC.

  A faixa termofílica não é aconselhável por apresentar maior sensibilidade a vários tipos de fatores, como variação da temperatura ambiente, causando instabilidade ao processo.

  - Faixa Mesofílica: próximo dos 35 ºC.

- **Sistema de Agitação:** Esse sistema se destina:

  - Homogeneizar o material a ser biodigerido, mantendo os microorganismos continuamente em contato com esse material.

  - Uniformizar a temperatura em todo biodigestor.

  - Prevenir estratificação evitando decantação de sólidos suspensos.

  - Distribuir a alcalinidade formada e facilitar o controle da acidez do processo (controle PH).

  - Evitar concentração de substâncias tóxicas.

  A agitação pode ser mecânica, através de recirculação de liquido ou recirculação de gás produzido.

- **Utilização do Lodo Biodigerido:** a matéria orgânica biodigerida, tratada (purificada) pode ser utilizada como fertilizante, pois é rica em nutrientes (N, P, K, etc). Segundo avaliação realizada recentemente, observa-se que:

  - 81% dos proprietários afirmaram ter obtido resultados superiores em relação à situação anterior (em termos de aumento de produtividade – Kg/ha/ano).

  - 5% consideraram os resultados iguais.

  - 14% não tinham resultados comparativos.

E recomenda-se a utilização do biofertilizante em estado liquido (bombeamento ou distribuído em veículos apropriados), pois quando submetido à secagem, parte do nitrogênio é perdida através da volatilização da amônia.

O biofertilizante pode ser usado ainda como componente de ração para bovinos e peixes, devendo ser assegurada a ausência de organismos patogênicos, o que inviabilizaria este tipo de utilização.

Em Israel a biodigestão de esterco bovino é feita na faixa termofílica, que auxilia a eliminação de patogênicos. Como resultado, 30 a 50% da ração comercial, relativa à criação de peixes é substituída, apresentando ainda um ganho de 25% no custo de produção.

Também em Israel, após a secagem, o lodo biodigerido substitui 25% da ração utilizada para alimentação de bezerros e ovelhas, sem prejuízos na engorda.

- **Utilização do Biogás:** o biogás produzido no sistema de biodigestão apresenta um teor de metano (principal elemento combustível) em torno de 60 a 70%, podendo ser utilizado em:

  - Geração de energia elétrica através da utilização de motores estacionários ou turbinas a gás, acopladas a gerador.

- Consumo automotivo: neste caso o biogás tem que passar por um processo de purificação para obtenção de taxa de metano na faixa de 96%, com retirada de CO_2 e umidade.

- Iluminação (lampiões).

- Geladeira, chuveiro.

OBS: no caso de ser utilizado como combustível em motores ou turbinas se deve eliminar o enxofre presente no gás, devido a problemas de corrosão.

8.1.2. Tipos de Biodigestores

As características do resíduo determinam o tipo de biodigestor a ser utilizado.

8.1.2.1. Resíduos Sólidos

Quando temos resíduos sólidos (lixo, lodo de esgoto, estercos animais, restos de colheitas) os tipos principais de biodigestores são:

a) Área Industrial

- **Biodigestor convencional:** tanque de alvenaria vedado no topo, com alimentação na parte inferior, acoplado diretamente a gasômetro para retirada de biogás. Opera a volume constante. Dotado de sistema de aquecimento e agitação para minimização do tempo de retenção hidráulico e obtenção de maior taxa possível de metano no biogás produzido, com conseqüente crescimento da eficiência do processo.

b) Área Rural

- Modelo Indiano:

- É o modelo mais utilizado na área rural (foco maior dos nossos estudos).

- Objetivo principal – suprir déficit energético.

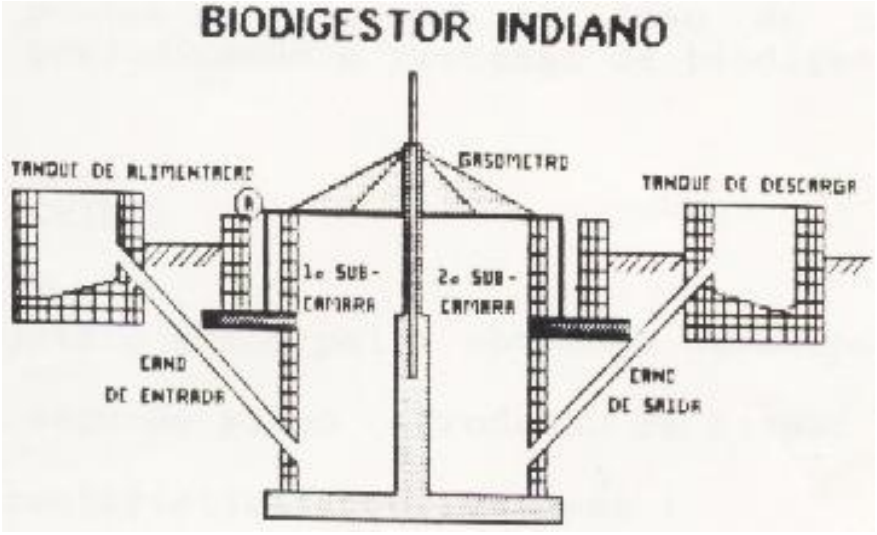
- Em segundo plano – tratamento de resíduos.

- **Características construtivas:**

► três tanques de alvenaria.

► uma campânula flutuante metálica (ou PVC) que funciona como gasômetro (evita vazamento e mantém a pressão do gás de saída devido ao seu peso).

Figura 01 – Biodigestor Indiano



- **Características operacionais:**

► operação à pressão constante.

► carrega-se o biodigestor com matéria orgânica sempre diluída em água (1 : 1) até o ponto A.

► a campânula acima do ponto A, implica em produção de biogás, e quando volta ao ponto, implica na retira total desse biogás.

- **Resíduos utilizados para carga:**

► estrume (bovino, suíno).

► restos de colheita.

► folhas secas.

►esgoto sanitário.

- **Características operacionais:**

► operação à pressão constante (volume variável).

- **Vantagens:**

► boa qualidade do biogás de saída (teor de metano mais elevado).

► melhor desempenho (menor número de paralisações, previstas e não previstas).

► linearilidade na produção de biogás (em termos de quantidade).

- **Desvantagens:**

► não há produção em série, a campânula (60% do custo), normalmente é encomenda especial, implicando num maior custo.

► não pode haver irregularidades na solda da campânula (problema de vazamentos).

► pontos de corrosão, em caso de campânula metálica, prejudicando o processo de biodigestão.

- Modelo Chinês:

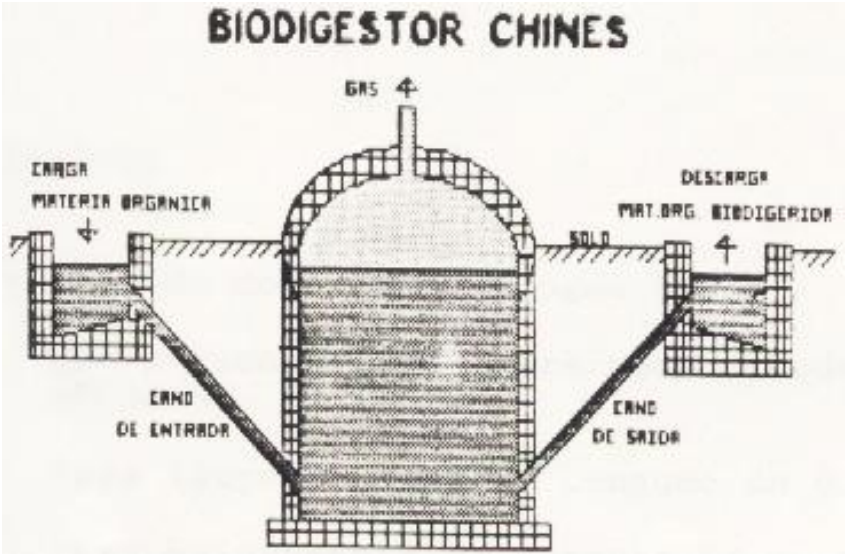
- Objetivo principal – obtenção de adubo orgânico tratado.

- Em segundo plano – produção de biogás.

- **Características construtivas:**

► construção em alvenaria, abaixo da superfície do solo.

Figura 02 – Biodigestor Chinês



- **Características operacionais:**

► matéria orgânica mais utilizada: esterco suíno, que pode ser misturado a restos de vegetais para minimizar o teor proteínas, que quando digeridas alteram o PH do sistema, prejudicando o processo de biodigestão.

►opera a volume constante.

- **Vantagens:**

► construção bem menos onerosa.

- **Desvantagens:**

► baixa qualidade do combustível produzido (baixo teor de metano no biogás produzido).

► em caso de limpeza, é necessária a entrada de uma pessoa responsável dentro da câmara biodigestão, colocando em risco a vida dessa pessoa em caso de existência de resíduos de biogás dentro da câmara.

► não linearilidade na produção de biogás (em termos de quantidade).

8.2. Gaseificação

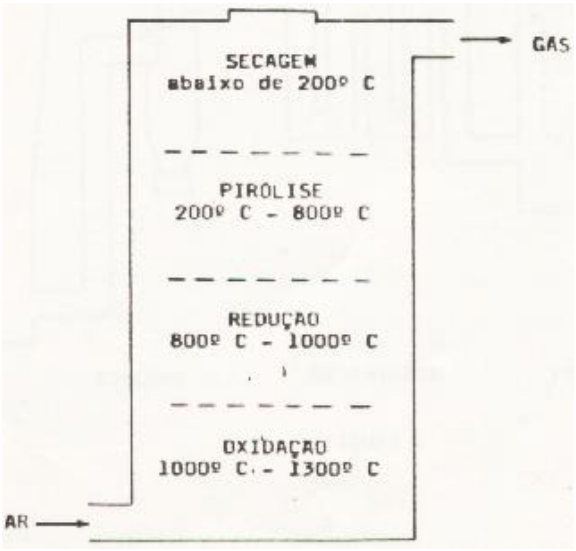
Gaseificação é a conversão de um combustível sólido (carvão, madeira, turfa, etc.) em combustível gasoso, podendo-se obter ainda cinzas, alcatrão e óleos pirolenhosos.

A gaseificação se processa em equipamentos denominados gaseificadores ou gasogênios.

8.2.1. Princípios da Gaseificação

O calor necessário para as reações é fornecido pela queima parcial do próprio combustível.

obtém-se o gás fazendo-se passar uma corrente de ar através de uma camada de combustível em incandescência. O processo de gaseificação ocorre em 4 zonas básicas, conforme **figura 03:**



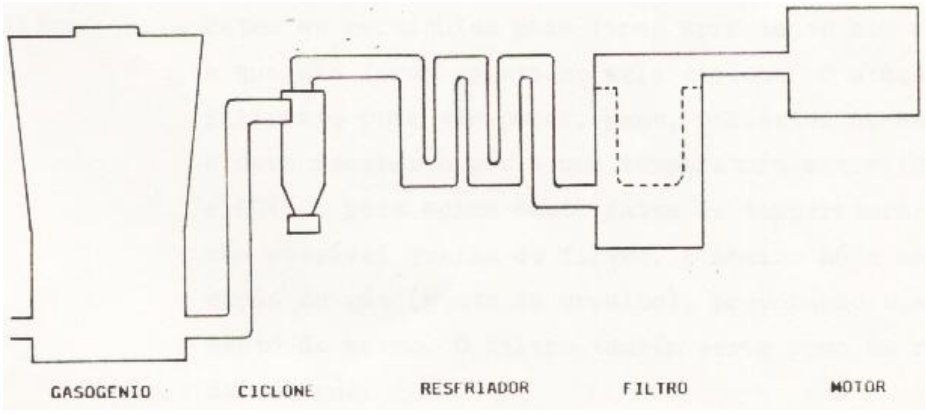
- **Oxidação:** também chamada de combustão, é onde ocorre a reação do combustível rico em carbono com o oxigênio do ar. Esta etapa fornece energia necessária para que se processem as outras reações.

- **Redução:** os gases quentes liberados em zona de oxidação são ricos em CO_2, e reagem com o carbono do combustível próximo, formando os componentes combustíveis do gás.

- **Pirólise:** nesta zona os gases quentes causam a destilação do combustível, provocando a formação de gases não condensáveis (CO, CO_2, CH_4, C_2H_2, C_3H_6), alcatrão, ácido pirolenhoso e outros.

- **Secagem:** a temperatura nesta zona é suficiente para eliminar a umidade do combustível na forma de vapor.

8.2.2. Gaseificador



- **Gasogênio:** responsável pela geração do gás a partir de um combustível sólido.

- **Ciclone:** tem a finalidade de coletar o pó arrastado com os gases. Deve vir logo depois do gasogênio, de forma a reter as maiores partículas de pó. O gás, ao entrar no ciclone, sofre uma súbita expansão e tem um movimento em espiral descendente onde deposita as partículas mais pesadas nas paredes do ciclone, e a saída do gás é ascendente através de um tubo interno. O ciclone serve também como um trocado de calor (resfriador).

- **Resfriador:** o gás produzido no gasogênio sai a uma temperatura em torno de 400ºC, devendo chegar ao motor próximo da temperatura ambiente. Para tal, é necessário à instalação de um resfriador após o ciclone, de modo a abaixar a temperatura do gás para a faixa entre 100ºC a 60ºC. Funciona como um radiador, onde o gás passa pelos tubos, que podem ser resfriados através de ar natural ou água.

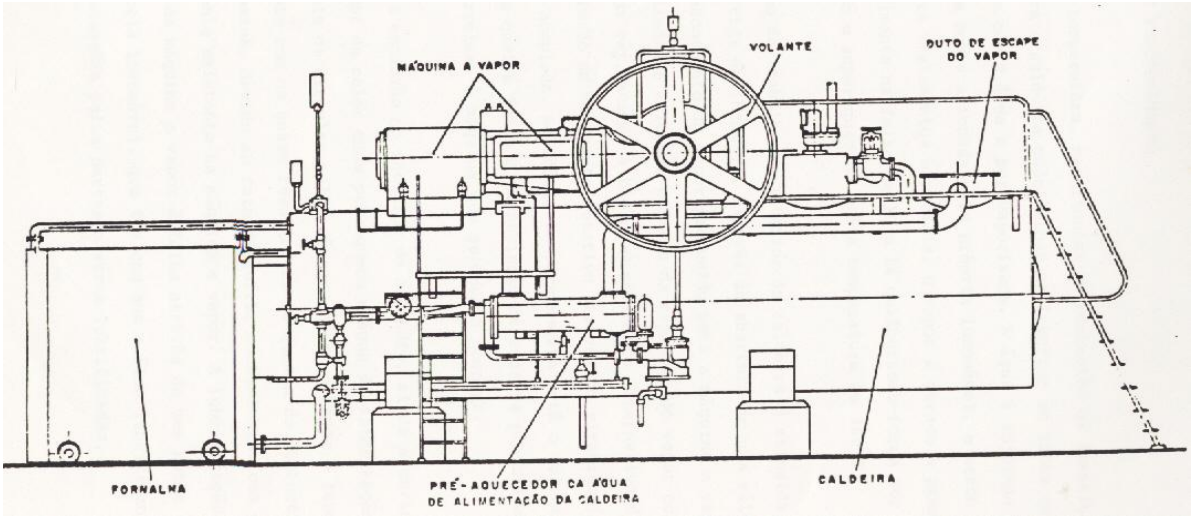
- **Filtro:** retém as partículas mais finas arrastadas com o gás e que não foram coletadas pelo c ciclone. O elemento filtrante pode ser papel, pano, poliéster ou espuma e deve receber o gás a uma temperatura entre 100ºC e 60ºC, pois acima desta faixa de temperatura há uma possível queima do filtro, e abaixo há a condensação do gás (ponto de orvalho), provocando o entupimento do mesmo. O filtro também serve como um resfriador de gás.

8.3. Locomóvel

A locomóvel é uma máquina térmica a vapor semelhante às locomotivas surgidas no século XVIII. Contudo, diferentemente dos motores de combustão interna, tais como os motores a Diesel e a gasolina, onde os gases resultantes da queima do próprio combustível produzem energia mecânica, na locomóvel, a produção de energia se dá através do vapor d'água, que pode ser gerado a partir da queima de qualquer combustível disponível para tal fim, constituindo-se essa versatilidade na característica fundamental do equipamento.

Como exemplo de combustíveis que podem ser utilizado, encontram-se notadamente a lenha e os resíduos de biomassa, tais como o bagaço de cana, cascas de arroz e café, serragem, entre outros resíduos diversos.

Os constituintes básicos da locomóvel são a fornalha, a caldeira e a máquina a vapor, como mostrado esquematicamente na **figura 05.**



Na fornalha podem ser queimados diversos combustíveis, utilizando-se grelhas especificas para cada um.

No caso em estudo, a fornalha é do tipo tubular, com o isolamento térmico sendo realizado pela própria água de alimentação.

O consumo de combustível, para uma determinada potência da locomóvel, será em função de suas características físico-químicas e do rendimento termodinâmico do equipamento.

A caldeira é do tipo fumotubular horizontal, onde os gases de combustão escoam dentro de tubos horizontais.

São acessórios dessa caldeira um superaquecedor de vapor, que é colocado na caixa de expansão dos gases de escape, com a finalidade de aumentar a temperatura do vapor e, também, um pré-aquecedor de água de alimentação.

A máquina a vapor é formada basicamente pelo conjunto cilindro, êmbolo, biela, virabrequim e volante.

8.3.1. Princípio de Funcionamento

Os gases a alta temperatura, resultantes da combustão na fornalha, são enviados para a caldeira onde escoam no interior de tubos que estão em contato com a água a ser vaporizada. A água é injetada na caldeira por uma bomba acionada pela própria locomóvel, e sendo limpa, não necessita tratamentos especiais. O vapor é gerado a pressão constante, geralmente na faixa de 10 a 14 quilogramas-força por centímetro quadrado e superaquecido até a temperatura de 360ºC.

Quando a pressão de trabalho no interior da caldeira é atingida, pode-se dar a partida na locomóvel através da abertura de uma válvula que permite o escoamento do vapor produzido para a máquina a vapor. O êmbolo do cilindro é acionado através da expansão do vapor contra ele, que por sua vez, aciona a biela. O movimento alternativo da biela é transformado em movimento rotativo através do virabrequim que está a ela acoplado. Solidário ao virabrequim está o volante, peça através da qual é feita a transmissão de energia produzida, por meio de correias, à máquina que se deseja acoplar.

O vapor, após a expansão no interior do cilindro, ainda é enviado para um trocador de calor onde pré-aquece a água de alimentação da caldeira. Depois de circular pelo pré-aquecedor, o vapor é lançado fora, juntamente com os gases resultantes da queima do combustível, através da chaminé, devido ao fato de sofrer contaminação com o óleo lubrificante existente na máquina a vapor. A lubrificação das partes móveis da máquina a vapor é feita através de uma bomba acionada pela própria locomóvel, que faz com que o óleo lubrificante circule continuamente pelas partes a serem lubrificadas.

Existem duas alternativas básicas para a utilização da locomóvel, que pode funcionar continuamente durante as 24 horas do dia.

A primeira consiste no seu acoplamento a um gerador de energia elétrica, que pode ser distribuída por toda a propriedade ou empreendimento industrial no qual o equipamento está instalado. A variação da carga no gerador é automaticamente acompanhada pela locomóvel, o que torna assim muito simples a operação do equipamento. A energia elétrica gerada pode ser normalmente distribuída para diversos pontos de consumo de um empreendimento, tais como motores elétricos para acionamento de pivôs centrais, bombas hidráulicas e equipamentos para beneficiamento de grãos, entre outros.

A segunda aplicação da locomóvel consiste em acoplá-la diretamente a equipamentos específicos, como, pro exemplo, em bombas centrifugas de sistemas de irrigação.

No caso de ser necessário mais do que uma locomóvel ou máquina a vapor, para a geração de energia elétrica e abastecimento de uma mesma rede de distribuição, podem ser realizadas ligações em paralelo, sendo importante, contudo, que sejam observadas as normas de paralelismo.

9. AVALIAÇÃO DE EQUIPAMENTOS A FONTES ALTERNATIVAS

Local: Fazenda Energética de Uberaba

Período: 1991 a 1993.

Equipamento	Produção (M^3)			Nº Médio de Funcionamento/Ano (dias)
	Anual	Mensal	Diária	
Roda D'Água **(1)**	8.867	739	24,7	360
Catavento p/ Bombeamento D'Água **(2)**	2.650	227	9,1	292
Carneiro Hidráulico **(3)**	1.699	142	4,7	362
Conjunto Bombeamento Solar **(4)**	9.383	804	29,2	322

Fonte: Fazenda Energética/CEMIG.

Observações:

(1) Roda d'água ROCHEFER PB-70

Desnível = 80m.

Extensão = 1.200m.

Diâmetro da tubulação = 1" e ¾".

(2) Catavento kenya – Torre de 9m

Profundidade do poço = 9,00m

Altura do reservatório = 3,00m. do nível do solo.

(3) Carneiro Hidráulico MARUMBY Nº 05

Desnível do tubo de alimentação = 6,00m.

Altura da elevação = 46,00m.

Comprimento da tubulação de alimentação = 36,00m.

Comprimento da tubulação de recalque = 470m.

(4) Conjunto para Bombeamento Solar HELIODINÂMICA

Potência do motor = 0,75CV.

Número de módulos = 12.

Tensão = 97,2 V.

Corrente = 4,3 A.

Altura manométrica máxima = 15 MCA.

10. ESTUDO DE CASO

"Substituição de Energia Elétrica por Fontes Alternativas".

- **Propriedade** = Fazenda São Jose da Mangabeira.
- **Município =** Monte Alegre de Minas.
- **Atividade =** Pecuária leiteira.
- **Produção =** 2.900l/leite/dia.
- **Nº Matrizes =** 150 cab.
- **Consumo de Energia =** 5.950 Kwh/mês.
- **Equipamentos:**
  - 2 tanques de expansão sendo um para 6.075 Lts e o outro para 1.550 Lts;
  - 1 ordenhadeira mecânica leite canalizado com capacidade de 10 vacas por vez;
  - 1 boiler de 200 Lts com resistência de 3.000 W;
  - 1 programador de higienização de ordenhadeira e tanques com 3 resistências de 6.000 W cada;
- **Demanda de Água** = 40m³/dia.
- **Fonte =** Poço artesiano com vazão 3m³/h.
- **Pretensões do produtor:**
  - Reduzir o consumo de energia elétrica.
  - Bombear água do açude.

  ►Vazão do açude: 8,6m³/h.

  ►Desnível: 40m.

  ►Distância: 1.400m.

- Opções de Bombeamento -

Tipo	Custo (R$)	% (V)
Fotovoltaico	48.740,00	100
Eólico	24.300,00	49,9
Elétrico	8.995,00 (*)	18,5

(*) Incluso: Conjunto Motobomba 1Ø – 5CV e 1.400m de RDR monofásica de 5 KVA.

OBS: Custo com energia elétrica: R$117,00/mês.

11. MEDIÇÕES EFETUADAS

- **Município** = Uberaba.
- **Local** = Fazenda Energética.
- **Altitude** = 784m.
- **Latitude** = 19º 46’ 25” S
- **Longitude** = 47º 58” 18” W.

Quadro 01 - Radiação Solar e Insolação (1)

(1) Posto solarimétrico com piranomêtro e integralizador.

Ano	Radiação Solar (Wh/m²/dia)	Insolação (h:m)
1991	4.047	9:48
1992	4.297	9:58
1993	4.529	10:14
Média	**4.291**	**10:00**

Fonte: CEMIG/FAZENDA ENERGÉTICA

Quadro 02 - Velocidade do Vento

Mês	Velocidade do Vento (Km/h) (*)	
	Média no Mês	Máxima no Mês
Janeiro	4,32	7,92
Fevereiro	3,96	7,20
Março	4,32	7,20
Abril	4,68	8,28
Maio	4,32	7,56
Junho	5,04	8,28
Julho	5,40	9,00
Agosto	5,76	10,08
Setembro	5,76	10,08
Outubro	5,04	9,36
Novembro	4,68	8,28
Dezembro	4,68	8,28

Fonte: CEMIG/Fazenda Energética

(*) Média de 3anos.

12. TABELA DE TARIFAS E PREÇOS

12.1. Tarifas de Energia Elétrica

CONSUMIDOR DO GRUPO B:		
CLASSE	**VALOR R$ / 1.000 Kwh**	**DESCONTO (%)**
Rural/Irrigante	139,69	-
Irrigação Noturna (Vale do Jequitinhonha e Área da SUDENE)	37,72	73
Irrigação Noturna (Demais Regiões)	46,10	67

Obs: Portaria 176 de 04/04/02 com vigência em 08/04/02
ICMS não incluso: 1,2195

CONSUMIDOR DO GRUPO A:			
CLASSE	**DEMANDA R$ / Kw**	**CONSUMO R$/1000 Kwh**	**DESCONTO (%)**
Convencional (Rural/ Irrigação)	7,90	115,89	-
Irrigação Noturna (Vale do Jequitinhonha e Área da SUDENE)	7,90	12,87	90
Irrigação Noturna (Demais Regiões)	7,90	25,75	80
Horo-Sazonal Verde Rural/Irrigação.	**FP** = 6,98 **UFP** = 23,24	**FPPU** = 57,64 **FPPS** = 65,23 **PPU** = 610,60 **PPS** = 620,79	- - - -
Horo-Sazonal Verde Irrigação Noturna (Vale do Jequitinhonha e Área da SUDENE)	**FP** = 6,98 **UFP** = 23,24	**FPPU** = 6,40 **FPPS** = 7,24 **PPU** = 610,60 **PPS** = 620,79	90 90 - -
Horo-Sazonal Verde Irrigação Noturna (Demais Regiões)	**FP** = 5,02 **UFP** = 16,74	**FPPU** =12,80 **FPPS** = 14,49 **PPU** = 610,60 **PPS** = 620,79	80 80 - -

OBS: Portaria 176 de 04/04/02 com vigência em 08/04/02
ICMS não incluso: 1,2195

PU = Período Úmido = Dezembro – Abril
PS = Período Seco = Maio - Novembro

DEMANDA:
FP = Fora de Ponta
UFP = Ultrapassagem Fora de Ponta

CONSUMO:
FPPU = Fora de Ponta Período Úmido
FPPS = Fora de Ponta Período Seco
PPU = Ponta Período Úmido
PPS = Ponta Período Seco

12.2. Preço de Construção de Redes Rurais

Distância (m)	Transformadores/(R$)			
	5 kVA	10 kVA	15 kVA	37,5 kVA
100	2.614,00	2.892,00	3.259,00	4.574,00
500	5.013,00	5.290,00	5.657,00	6.972,00
1.000	8.018,00	8.288,00	8.655,00	9.970,00
1.500	11.008,00	11.286,00	11.653,00	12.968,00
2.000	14.006,00	14.284,00	14.651,00	15.966,00

Fonte: CEMIG – dez/2002.

12.3. Preço de Cataventos e Acessórios - Energia Eólica

Item	Especificação	Valor (R$)
01	Catavento p/ bombeamento d'água c/ torre 6m	3.000,00
02	Catavento p/ bombeamento d'água c/ torre de 9m	3.600,00
03	Catavento p/ bombeamento d'água c/ torre de 12m	4.200,00
04	Catavento p/ bombeamento d'água c/ torre de 15m	4.800,00
05	Catavento p/ bombeamento d'água c/ torre de 18m	5.640,00
06	Catavento p/ bombeamento d'água c/ torre de 21m	6.600,00
07	Catavento p/ bombeamento d'água c/ torre de 24m	7.200,00
08	Catavento gerador 12 Volts c/ torre de 12m	5.040,00
09	Cavalo mecânico	450,00
10	Gaxeta repressora	144,00
11	Pulmão de recalque com 2 válvulas de retenção	300,00
12	Acessórios para poço (canos, varetas, conexões) p/ metro	21,00

Fonte: Cataventos Kenya – Nov/2002.

12.4. Preço de Componentes Fotovoltaicos

Item	Especificação	Valor (R$)
01	Módulo solar gerador p/ 5 watts	270,00
02	Módulo solar gerador p/ 10 watts	375,00
03	Módulo solar gerador p/ 20 watts	650,00
04	Módulo solar gerador p/ 35 watts	750,00
05	Módulo solar gerador p/ 45 watts	790,00
06	Módulo solar gerador p/ 50 watts	1.000,00
07	Módulo solar gerador p/ 60 watts	1.125,00
08	Controlador de carga sem corte do sistema	70,00
09	Controlador de carga com corte do sistema	105,00
10	Indicador de carga de bateria	40,00
11	Inversor de corrente 300VA – 110 Volts	160,00
12	Inversor de corrente 300VA – 110/220 Volts	200,00
13	Inversor de corrente 600VA – 110/220 Volts	375,00
14	Bomba Shurflo 8.000-flutuante 12 Volts	375,00
15	Bomba Shurflo 2.088-flutuante 12 Volts	600,00
16	Conj. Lâmpada 9W e 11W PL c/ reator e soquete	25,00
17	Lâmpada PL 9 W compacta c/ rosca	25,00
18	Lâmpada 9 W e 11W 4 pinos	8,00
19	Reator 9W/11W/15W/20W	13,00
20	Liquidificador 12 Volts	125,00
21	Receptor de antena parabólica c/ LNB 12 V	350,00
22	Ventilador 12V 6”	50,00
23	Freezer 150L 12V	2.860,00
24	Freezer 260L 12V	3.125,00
25	Frigobar 120L 12V	2.030,00
26	Geladeira 240L 12V	2.130,00

Fonte: Solar Brasil – Set/2002.

13. ENDEREÇOS

13.1. INDUSTRIAS MECÂNICAS ROCHFER LTDA.

Av. José da Silva, 3765 – Caixa Postal 194

Franca – SP

Cep: 14405-391

Fone: (16) 724 – 6000 Fax: (16) 724 – 6001

Home Page: http://www.rochfer.com.br

E-mail: rochfer@rchfer.com.br.

13.2. MUELLER IRMÃOS LTDA.

Av. Presidente Wenceslau Braz, 1046 – Caixa Postal 3336

Bairro Vila Lindóia

Curitiba – PR

Cep: 81010–000

Fone: (41) 276 – 3444

13.3. CATAVENTOS KENYA

Rod. RS 130 – Km 97 – Caixa Postal 111

Bairro Lajeadinho

Encantado – RS

Cep: 95960-000

Fone: (51) 751 – 1750

Home Page: http://www.cataventoskenya.com.br

E-mail: cataventoskenya@bewnet.com.br

13.4. SOLETROL AQUECEDORES SOLARES DE ÁGUA

Rod. Marechal Rondon – Km 274 – Caixa Postal 53

São Manuel – SP

Cep: 18650-000

Fone: (14) 6804 – 2000 Fax: (14) 6814 – 4080.

Home Page: www.soletrol.com.br

E-mail: soletrol@soletrol.com.br

13.5. SOLAR BRASIL – Tecnologia e Energia Solar Fotovoltaica LTDA

Rua Rita Joana de Souza, 536

Brooklin – São Paulo-SP

Cep: 04601-061

Fone: (11) 5041 – 7666 Fax: (11) 5535 – 4071

Home Page: www.solarbrasil.com.br

E-mail: solar@solarbrasil.com.br

13.6. FAZENDA ENERGÉTICA – CEMIG

Rua Afonso Rato, 1301

Bairro Mercês

Uberaba-MG

Cep: 38060-040

Fone: (34) 3333 – 2200

Home Page: www.cemig.br

E-mail: acco@cemig.com.br

14. LITERATURA CONSULTADA

Os dados, figuras e fotos apresentados nesse trabalho foram extraídos dos seguintes livros, apostilas, manuais, anais e catálogos de fabricantes:

1. Física para Ciências Biológicas e Biomédicas;
2. Dimensionamento e Instalação de Bombas Hidráulicas em Propriedades Rurais – CEMIG;
3. Carneiro Hidráulico – Dados Práticos Para o Seu Bom Funcionamento – EMATER-MG;
4. Catálogo da ROCHFER;
5. Catálogo da ZIOBER-MARTCH;
6. Captação, Elevação e Melhoramento da Água – Alberto Dacker;
7. Energia Eólica – Universidade Federal de Viçosa;
8. Avaliação de Desempenho de Um Catavento Para Bombeamento D'Água – CEMIG;
9. Bombeamento D'Água com Uso de Catavento – Resultado de Monitoria – CEMIG;
10. Usina Eólio-Elétrica do Morro do Camelinho – CEMIG;
11. Seminário Técnico Internacional de Energia Eólica – CEMIG – Abril/1994;
12. Cataventos Kenya;
13. Energia Solar no Meio Rural – CEMIG;
14. Secagem com Energia Solar – Universidade Federal de Viçosa;
15. Energia Solar para Aquecimento de Água – CEMIG;
16. Sistema Fotovoltaicos: Instalação, Uso e Manutenção – GTZ;
17. Cartilha da Energia Solar no seu dia-a-dia – Solar Brasil;
18. Energia Solar: Uma fonte Alternativa para a Tecnologia – SIEMENS;
19. Utilização da Energia Solar Fotovoltaica – CEMIG;
20. Biodigestão – CEMIG;
21. Gaseificação de Biomassa – CEMIG;
22. Locomóvel: Alternativa Energética para Irrigação – CEMIG.